



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Extracción de pectina de frutos amazónicos mediante un proceso asistido por microondas**

**Diana Edith Molina Soler**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá D. C., Colombia

2016

# **Extracción de pectina de frutos amazónicos mediante un proceso asistido por microondas**

**Diana Edith Molina Soler**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ciencia y Tecnología de alimentos**

Directora:

Ph.D. María Soledad Hernández Gómez

Codirector:

M. Sc. Rafael Humberto Gutiérrez Bravo

Línea de Investigación:

Extracción de un ingrediente natural de Frutos Amazónicos con Nuevas tecnologías

Grupos de Investigación:

Frutales Promisorios de la Amazonia y Bioalimentos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá D.C., Colombia

2016

*“El científico no estudia la naturaleza por la utilidad que le pueda reportar; la estudia por el gozo que le proporciona, y este gozo se debe a la belleza que hay en ella”*

*Henri Poincaré 1854-1912*

## *Dedicatoria*

*A mis padres, por ser el motor de mi vida y quienes me han dado las fuerzas necesarias para nunca cortar mis alas. Los amo. Esto no hubiera sido posible sin su ayuda.*

*A Amparo Canosa Torrado y Adriana Lozano Barrero, mis grandes maestras, que aprecio y admiro mucho. Esta tesis es fruto del placer por la investigación que sembraron en mí.*

## **Agradecimientos**

A DIOS, por haberme dado una segunda oportunidad de vida y haber puesto en mi camino a aquellas personas que me acompañaron y ayudaron de manera incondicional.

A mi directora, la Doctora María Soledad Hernández y mi codirector, el profesor Rafael Gutiérrez Bravo, por su valiosa colaboración, gestión y confianza que posibilitaron el desarrollo de este proyecto de grado.

Al profesor Orlando Martínez, por la asesoría prestada en el diseño y análisis estadístico del proyecto.

A la Dirección de Investigación y Extensión de la Universidad Nacional de Colombia - DIB - sede Bogotá, por haber seleccionado y financiado mi trabajo de grado por medio de la Convocatoria del programa Nacional de proyectos para el fortalecimiento de la Investigación, la creación y la Innovación en posgrados de la Universidad Nacional de Colombia 2013-2016, Modalidad 2: Nuevos proyectos de Investigación, creación o innovación, Código: 28487.

Al Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI y al Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos –ICTA, por haberme permitido trabajar en sus instalaciones y por toda la colaboración que me brindaron durante su desarrollo.

A todos los grupos, asociaciones y colaboradores que contribuyeron en esta trayectoria de aprendizaje:

- A mis compañeros del SINCHI: Diana Carolina Guerrero, Marcela Carrillo, Pablo González y Alejandra Leiva.

- A todo el personal del ICTA, principalmente a William Ballén, Jorge Sandoval, Martha Esguerra, Dora Uribe, Alvaro Jimenez, Carlos J. Rincón, y a la Doctora Amanda Díaz.
- A mis compañeros de la Universidad Nacional especialmente a Ibeth Rodríguez González, Danilo Revelo, Andres Mauricio Martinez y Yolanda Quiñonez.
- A Sandra Varón, ASOPROCEGUA y a la Asociación de Mujeres Comunitarias de Tarapacá.
- Al resguardo Indígena de Santa Sofía de Leticia – Amazonas, principalmente a Jaime Vento y a Héctor Mora, que permitio que mi viaje a la selva amazónica fuera un mar de conocimiento.
- A la comunidad del Caquetá, fundamentalmente a Andrés Facundo, Hugo Portela, Esidoro Carvajal y Sergio Vargas.
- Al grupo de trabajo del Herbario Amazónico Colombiano – COAH especialmente a Norida Marín, Dairon Cárdenas López y Jair Felipe, que hicieron de esta experiencia una aventura de vida, con momentos inolvidables y alegrías infinitas.
- Y a mis compañeros de vida Luis García Galeano, Odilia Walteros, Pablo Buitrago, Luis Eduardo Mosquera, Karen Adriana Gallego, Dalia Irene Marín, y a la Familia Marin Canchala por su inestimable colaboración, no es fácil llegar, se necesita ahínco, lucha y deseo, pero sobre todo el apoyo como el que recibí de ustedes, este trabajo no habría sido posible sin su ayuda. Muchísimas gracias.

A MIS PADRES, a quienes admiro profundamente y les debo todo lo que soy. Gracias por ser mi fuerza, mi mano amiga y esos seres maravillosos que Dios puso en mi camino. Este trabajo también es fruto de ellos, sus trasnochadas y ayuda inimaginable hicieron posible su desarrollo.

A MIS HERMANOS Manuel, Yaneth y Angélica; MIS TIOS y PRIMOS, especialmente Martha, Jorge, Viviana, Marlen, Patricia, Laura, Elizabeth, Sergio, Jose, Hilda, Julio y Cecilia; por su valiosa colaboración, dedicación y apoyo incondicional que me han brindado en todas mis decisiones de vida.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido en la ejecución de este trabajo de grado, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

## Resumen

La Amazonia colombiana posee una gran biodiversidad en flora que puede ser fuente de ingredientes necesarios para los sectores agroalimentarios, nutraceuticos y fitoterapeutico, como la pectina. Con el objeto de aprovechar este hidrocoloide y de utilizar un método rápido, práctico y de menor gasto energético para su extracción. Se estudio el contenido de pectina de la parte comestible y no comestible de nueve frutos amazónicos, y se seleccionaron dos con mayor cantidad de pectina para establecer el protocolo para su obtención, utilizando la extracción asistida por microondas (EAM). Se evaluó el efecto individual e interacción del pH, relación soluto: solvente (RSS), potencia y tiempo de irradiación en su rendimiento y calidad. Estos resultados se compararon con los obtenidos utilizando el método convencional de extracción. Las mejores condiciones utilizando la EAM fueron para el mesocarpio fibroso de canangucha 770W, RSS 1:20 g:mL, pH 1,5 durante 21 min con un rendimiento de pectina de  $6,19 \pm 0,23\%$ , aunque con la extracción por el método convencional fue de  $8,51 \pm 0,43\%$ , y para la cáscara de cocona 880W, pH 1.1, RSS 1:15 g:mL durante 15 minutos, con un rendimiento de  $13,08 \pm 0,24\%$  y con el método convencional  $12,78 \pm 0,41\%$ . A partir de estos resultados se postula la cáscara de cocona como una nueva fuente de pectina, de alto metoxilo y con contenido de ácido anhidrouónico (AUA) mayor al 65%.

**Palabras clave:** Amazonas, biodiversidad, hidrocoloides, aditivos, microondas.

## Abstract

The Colombian Amazon has a great biodiversity in flora that can be a source of ingredients for agri-food, nutraceutical and phytotherapeutic sectors such as pectin. In order to exploit this hydrocolloid and use a method fast, convenient and less energy expenditure for its extraction. In this study, the pectin content was evaluated of edible and non-edible parts of nine Amazonian fruits, and two sources of pectin were selected to establish the protocol for obtaining, using microwave assisted extraction (EAM). Therefore the individual effect and interaction of radiation power, pH, solid: solvent ratio and irradiation time on the yield and quality of pectin were evaluated; These results were compared with those obtained using the conventional method. Optimal conditions for EAM were 770W, RSS 1:20 g:mL, pH 1.5 for 21 minutes in the fibrous mesocarp canangucha to yield of  $6.19 \pm 0.23\%$  of pectin, although with conventional extraction method was  $8.51 \pm 0.43\%$ , and for the peel cocona was 880W, pH 1.1, RSS 1:15 g:mL for 15minutes, with a yield of  $13.08 \pm 0.24\%$  and with the conventional method was  $12.78 \pm 0.41\%$ . The results are postulated of a new source of pectin (peel cocona) of high methoxyl and containing greater of anhidro-uronic acid (AUA) to 65%.

**Keywords:** Amazon, biodiversity, hydrocolloids, additives, microwave.

# Contenido

	Pág.
	<b>Resumen VII</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas.....</b>	<b>XV</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Evaluación del contenido de pectina y caracterización fisicoquímica de frutos recolectados en la región Amazónica Colombiana.....</b>	<b>3</b>
Resumen .....	3
Abstract .....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Materiales y métodos .....	11
1.2.1 Materia Prima .....	11
1.2.2 Caracterización físico-química .....	11
1.2.3 Contenido de pectina.....	13
1.2.4 Marcha fitoquímica preliminar .....	14
1.2.5 Análisis estadístico .....	15
1.3 Resultados y discusión.....	15
1.3.1 Características morfológicas de los frutos amazónicos evaluados.....	15
1.3.2 Composición porcentual en peso.....	17
1.3.3 Índice de madurez y características químicas.....	17
1.3.4 Humedad.....	18
1.3.5 Contenido de pectina de la parte no comestible de los frutos seleccionados .	19
1.3.6 Contenido de pectina de la parte comestible de frutos seleccionados .....	21
1.3.7 Identificación cualitativa de metabolitos secundarios .....	22
1.4 Conclusiones.....	23
Bibliografía.....	23
<b>2. Extracción de pectina a partir de subproductos de canangucha y cocona, usando extracción asistida por microondas (EAM).....</b>	<b>33</b>
Resumen .....	33
Abstract .....	34
2.1 Introducción.....	34
2.2 Materiales y métodos .....	43

2.2.1	Obtención y acondicionamiento de la materia prima .....	43
2.2.2	Análisis proximal de las partes no comestibles de la canangucha y la cocona.....	46
2.2.3	Extracción asistida por microondas de pectina (EAM) .....	46
2.2.4	Extracción de pectina por el método convencional .....	47
2.2.5	Diseño experimental.....	49
2.2.6	Caracterización y control de calidad de las pectinas extraídas .....	51
2.2.7	Análisis estadístico .....	53
2.3	Resultados y discusión .....	54
2.3.1	Rendimientos obtenidos en el procesamiento manual de canangucha y el despulpado de cocona.....	54
2.3.2	Análisis proximal de algunos subproductos de canangucha y cocona.....	55
2.3.3	Efecto individual de los factores evaluados en la extracción asistida por microondas de pectina.....	56
2.3.4	Optimización de las condiciones de extracción de pectina mediante un proceso asistido por microondas.....	60
2.3.5	Efecto de las condiciones de EAM en la calidad de pectina .....	66
2.3.6	Comparación de los métodos de extracción EAM y calentamiento convencional para la obtención de pectina a partir de frutos amazónicos. ....	73
2.4	Conclusiones .....	76
	Bibliografía .....	78
<b>3.</b>	<b>Conclusiones generales y recomendaciones.....</b>	<b>85</b>
3.1	Conclusiones generales.....	85
3.2	Recomendaciones .....	86
	<b>Anexo A: Análisis estadístico de los datos obtenidos en la determinación del contenido de pectina de frutos amazónicos .....</b>	<b>89</b>
	<b>Anexo B: Análisis estadístico del efecto individual de los factores evaluados en la extracción asistida por microondas de pectina.....</b>	<b>91</b>
	<b>Anexo C: Análisis estadístico a los resultados obtenidos utilizando el diseño experimental de Taguchi .....</b>	<b>95</b>
	<b>Anexo D: Socialización de resultados.....</b>	<b>99</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>105</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1:</b> Mapa de la región de la Selva Amazónica. ....	5
<b>Figura 1-2</b> Dominios principales de la pectina. ....	7
<b>Figura 1-3:</b> Estructura esquemática de una pared celular vegetal.....	9
<b>Figura 1-4:</b> Contenido de pectina de las partes no comestible de frutos amazónicos seleccionados (g de pectado.100g <sup>1</sup> de materia seca).....	20
<b>Figura 1-5:</b> Porcentaje de pectato de calcio de la parte comestible de frutos de la región amazónica colombiana. ....	21
<b>Figura 2-1:</b> Distribución de <i>Mauritia flexuosa</i> en América (a) y Colombia (b). ....	35
<b>Figura 2-2:</b> Fruto (a), racimos (b) y palma (c) de <i>Mauritia flexuosa</i> . ....	36
<b>Figura 2-3:</b> Distribución de cocona en América (a) y Colombia (b). ....	36
<b>Figura 2-4:</b> Planta (a) y fruto (b) de Cocona.....	37
<b>Figura 2-5:</b> Diagrama de flujo para la obtención manual de la muestra de canangucha. 44	44
<b>Figura 2-6:</b> Diagrama de flujo para la obtención de la cáscara de cocona. ....	45
<b>Figura 2-7</b> Sistemas utilizados para la extracción de pectina por microondas (a) y por el método de calentamiento convencional (b).....	47
<b>Figura 2-8:</b> Diagrama de flujo para la extracción de pectina. ....	48
<b>Figura 2-9</b> Curva de calibración para determinar ácido D-galacturónico monohidrato.52	52
<b>Figura 2-10:</b> Efecto de la potencia utilizando la extracción asistida por microondas durante 12 min, pH 1,5 y relación sólido (g): solvente (mL) 1:20, en el rendimiento de pectina obtenida del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona. ....	57
<b>Figura 2-11:</b> Efecto del pH utilizando la extracción asistida por microondas durante 12 min a 440W y relación sólido (g): solvente (mL) 1:20, en el rendimiento de pectina obtenida del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona. ....	58
<b>Figura 2-12:</b> Efecto de la relación sólido (g): solvente (mL) utilizando la extracción asistida por microondas durante 12 min a 440W y pH 1,5, en el rendimiento de pectina obtenida del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona. ....	59
<b>Figura 2-13:</b> Efecto del tiempo de irradiación utilizando extracción asistida por microondas a 440W, pH 1,5 y relación sólido (g): solvente (mL) 1:20, en el rendimiento de pectina obtenida del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona. ....	60
<b>Figura 2-14:</b> Superficies de respuesta que muestran el efecto de la potencia (a y b), pH (a y c) y tiempo (b y c), en el rendimiento de la pectina obtenida de cocona utilizando el proceso de extracción asistida por microondas. ....	64

<b>Figura 2-14:</b> Superficies de respuesta que muestran el efecto de la potencia (a, b y c), pH (a, d y e), RSS (b, d y f) y tiempo (c, e y f), en el rendimiento de la pectina obtenida de canangucha utilizando el proceso de extracción asistida por microondas. ....	65
<b>Figura 2-16:</b> Pectina de canangucha (a) y cocona (b), obtenida en la extracción asistida por microondas. ....	66
<b>Figura 2-17:</b> Superficies de respuesta que muestran el efecto de la potencia, pH y RSS en el peso equivalente (a, b, c) y acidez libre (d e y f) de la pectina obtenida de canangucha utilizando el proceso de extracción asistida por microondas. ....	71
<b>Figura 2-18:</b> Superficies de respuesta que muestran el efecto de la potencia (a), pH (a y b) y RSS (b), en el peso equivalente de la pectina obtenida de cocona utilizando el proceso de extracción asistida por microondas.....	72

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1:</b> Algunas especies promisorias de la Amazonia colombiana.....	6
<b>Tabla 1-2:</b> Partes de los frutos amazónicos seleccionados para evaluar el contenido de pectina. ....	13
<b>Tabla 1-3:</b> Diámetro Longitudinal (DL), Diámetro transversal (DT) y Peso de diferentes Frutos Amazónicos enteros.....	16
<b>Tabla 1-4:</b> Composición en peso porcentual de los frutos amazónicos seleccionados. ....	17
<b>Tabla 1-5:</b> Características químicas de frutos Amazónicos seleccionados.....	18
<b>Tabla 1-6:</b> Contenido de humedad de los frutos seleccionados para evaluar su contenido de pectina. ....	19
<b>Tabla 1-7:</b> Resultados obtenidos en la marcha fitoquímica preliminar realizada al mesocarpio fibroso de canangucha y la cáscara de cocona. ....	22
<b>Tabla 2-1:</b> Rendimiento y grado de esterificación de pectinas extraídas de diferentes fuentes. ....	38
<b>Tabla 2-2:</b> Parámetros óptimos reportados de la extracción asistida por microondas (EAM) para la extracción de pectinas a partir de diferentes partes de frutos. ....	41
<b>Tabla 2-3:</b> Metodos empleados para el análisis proximal. ....	46
<b>Tabla 2-4:</b> Factores y niveles evaluados en el estudio preliminar.....	49
<b>Tabla 2-5:</b> Tabla arreglo ortogonal de Taguchi L <sub>16</sub> (4) <sup>4</sup> , donde F son los factores.....	50
<b>Tabla 2-6:</b> Rendimientos obtenidos en el procesamiento de canangucha y cocona.....	54
<b>Tabla 2-7:</b> Macronutrientes de algunos subproductos de canangucha ( <i>Mauritia flexuosa</i> ) y cocona ( <i>Solanum sessiliflorum</i> ). ....	56
<b>Tabla 2-8:</b> Niveles de los factores para el diseño ortogonal de Taguchi L <sub>16</sub> (4) <sup>4</sup> , en las dos especies.....	61
<b>Tabla 2-9:</b> Rendimiento obtenido a partir del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona, utilizando el diseño ortogonal de Taguchi L <sub>16</sub> (4) <sup>4</sup> . ....	62
<b>Tabla 2-10:</b> Modelos polinomiales y análisis de varianza multifactorial para el rendimiento de la pectina obtenida a partir del mesocarpio fibroso de canangucha (a) y cáscara de cocona (b), utilizando el diseño ortogonal de Taguchi L <sub>16</sub> (4) <sup>4</sup> . ....	63
<b>Tabla 2-11:</b> Medias por mínimos cuadrados y prueba de Tukey para los niveles de cada factor, en las características de calidad de la pectina obtenida a partir del mesocarpio fibroso de canangucha, con el diseño ortogonal de Taguchi L <sub>16</sub> (4) <sup>4</sup> . ....	67

<b>Tabla 2-12:</b> Medias por mínimos cuadrados y prueba de Tukey para los niveles de cada factor, en las características de calidad de la pectina obtenida a partir de la cáscara de cocona, con el diseño ortogonal de Taguchi $L_{16}(4)^4$ .	68
<b>Tabla 2-13:</b> Modelos polinomiales y análisis de varianza multifactorial para el peso equivalente (a) y acidez libre (b) de la pectina obtenida a partir del mesocarpio fibroso de canangucha utilizando el diseño ortogonal de Taguchi $L_{16}(4)^4$ .	69
<b>Tabla 2-14:</b> Modelo polinomial y análisis de varianza multifactorial para el peso equivalente de la pectina obtenida a partir de la cáscara de cocona utilizando el diseño ortogonal de Taguchi $L_{16}(4)^4$ .	70
<b>Tabla 2-15:</b> Efecto de los métodos de extracción en el rendimiento, composición y en las características físicoquímicas de la pectina de cocona. .	74
<b>Tabla 2-16:</b> Efecto de los métodos de extracción en el rendimiento, composición y en las características físicoquímicas de la pectina de canangucha.	75

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
M	Masa	g	
N	Normalidad	meq/mL	
%p/v	Porcentaje masa/volumen		$\frac{g}{mL} \times 100$
V	Voltio		$\frac{Kg \ m^2}{A \ s^3}$
v	Volumen	mL	
W	Potencia	J/s	

### Subíndices

Subíndice	Término
HCl	Ácido clorhídrico
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
°brix	Unidad de medida de sólidos solubles
C	Carbono
cm	Centímetros
DL	Diámetro longitudinal
DT	Diámetro transversal
D.E.	Desviación estandar
US\$	Dolar estadounidense
°C	Grados Celcius
g	Gramo
GHz	Gigahercio
h	Hora
NaOH	Hidróxido de sodio
Ca <sup>2+</sup>	Iones de calcio
Kg	Kilogramo
Km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
m	Metro
µm	Micrometros
µg	Microgramos
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
mg	Miligramos
mm	Milimetro

**Subíndice Término**

---

min	Minuto
mL	Mililitro
MHz	Megahercio
$\bar{x}$	Media
O	Oxígeno
%	Porcentaje
ppm	Partes por millón
HM	Pectinas de alto metoxilo
LM	Pectinas de bajo metoxilo
pH	Potencial de hidrógeno
RSS	Relación sólido: solvente (g:mL)
RPM	Revoluciones por minuto
seg	segundos
T	Toneladas
W	Watt

**Abreviaturas**

**Abreviatura Término**

---

AGM	ácido galacturónico monohidrato
ANOVA	Análisis de varianza
AUA	Contenido de ácido anhidrouónico
EAM	Extracción asistida por microondas
% b.s.	Porcentaje en base seca
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo

## Introducción

La Amazonía es una selva tropical húmeda de 7.989.004 Km<sup>2</sup>, correspondiente al 1,4% de la superficie total del planeta y al 40,2% del continente suramericano, repartida entre Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Perú, Surinam y Venezuela; de la cual a Colombia le pertenece el 6,6% de su área total (531.000 Km<sup>2</sup>), que representa el 42% de su territorio. Además, es uno de los principales reservorios de carbono del planeta, que aporta cerca del 20% del suministro global de agua dulce, contiene más del 56% de todos los bosques tropicales que ofrece la mayor biodiversidad de flora y fauna del planeta (CEPAL y Patrimonio natural, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2004).

Pero esta riqueza biológica contrasta con los altos indicadores de necesidades básicas insatisfechas (NBI) y de pobreza multidimensional de su población local, que alcanza el 35,6% (DANE, 2012); por lo se crea la necesidad de generar alternativas que puedan contribuir al desarrollo alternativo y sostenible a la región. Siendo la producción de compuestos naturales, como la pectina, una opción viable.

La pectina es un hidocoloide que se encuentra en los tejidos vegetales de los frutos amazónicos, tiene un alto interés comercial por su necesidad en la formulación de varios productos alimenticios (mermeladas, jaleas, confituras, compotas, yogures, helados), cosméticos, farmacéuticos, entre otros (Ferreira, 2007). El precio por kilo oscila entre \$70.000 y \$80.000 COP (CIMPA, 2016). Su consumo anual se estima en todo el mundo en 45.000 T, con un valor global de por lo menos 400 millones de euros (Willats *et al.*, 2006). Actualmente no se produce en Colombia, por lo que se importan aproximadamente 436 T por año, con un valor de US\$3.847.404, de acuerdo a las estadísticas de la DIAN en el 2010 (García y Penagos, 2011).

A escala industrial, la extracción de pectina se realiza por hidrolisis ácida, utilizando ácidos minerales fuertes, altas temperaturas y tiempos prolongados que generan

cambios no deseables en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Wicker *et al.*, 2014), sin mencionar sus altos requerimientos energéticos y los residuos que se generan provocando una alta contaminación. Varios científicos como Chen *et al.* (2016), Guo *et al.* (2012), Peng *et al.* (2016) y Seixas *et al.*, (2014) han propuesto la extracción asistida por microondas (EAM), como una nueva técnica de extracción, para mejorar la eficiencia del proceso, con menores tiempos de extracción, bajos requerimientos de energía y menor costo de producción, que permite además disminuir los efectos adversos que influyen en su calidad (Hosseini *et al.*, 2016).

La EAM ha sido utilizada para la extracción de contaminantes orgánicos como los plaguicidas, pesticidas, insecticidas, fungicidas y compuestos de anillos fusionados aromáticos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos y aminas heterocíclicas aromáticas (Wang *et al.*, 2016), de biocompuestos como los antioxidantes, flavonoides, glucósido, fenoles, antraquinonas, cumarinas, alcaloides, saponinas, terpenoides y aceites esenciales (Herrera, 2013; Zhang *et al.*, 2011).

Teniendo en cuenta el inmenso potencial de la biodiversidad amazónica, las dificultades de transporte, las condiciones ambientales, las necesidades de la industria alimentaria y los posibles beneficios para una región distante, en este estudio se evaluarán y plantearán nuevas fuentes de pectina a partir de frutos amazónicos, que también fueron caracterizados físicoquímicamente para conocer su composición en peso porcentual y estado de madurez; y se comparó el efecto de las condiciones de extracción en la composición y la calidad de la pectina obtenida con el método convencional, luego de haber optimizado el proceso de extracción de las microondas, evaluando el efecto del pH, potencia, tiempo de calentamiento y relación sólido: solvente en su rendimiento y calidad.

Se espera que esta investigación ayude a incentivar el uso de nuevas materias primas, nuevas tecnologías mas económicas y con menos efectos adversos al ambiente para la producción de insumos que no se producen en el país, además que motive el uso integral de las especies amazónicas.

# 1.Evaluación del contenido de pectina y caracterización fisicoquímica de frutos recolectados en la región Amazónica Colombiana

## Pectin Content Evaluation and Physicochemical Characterization of some fruits of the Colombian Amazon region

### Resumen

En este estudio se evaluó el contenido de pectina de las partes comestible y no comestible de nueve frutos amazónicos caracterizados fisicoquímicamente, con el fin de establecer su aptitud tecnológica para la extracción de pectinas. Además se realizó la marcha fitoquímica preliminar a las matrices seleccionadas con mayor contenido de pectina. El mayor porcentaje de pectina en la parte no comestible, se encontró en el exocarpo dehiscente de la matandrea (*Renealmia alpinia*)  $18,92 \pm 2,69\%$ , en el mesocarpio fibroso de la canangucha (*Mauritia flexuosa*)  $13,26 \pm 0,98\%$  y en la cascara de la cocona (*Solanum sessiliflorum*)  $12,19 \pm 0,69\%$ . En la parte comestible fue el mesocarpio de los frutos cocona con  $12,12 \pm 1,73\%$  y arazá (*Eugenia stipitata*) con  $10,85 \pm 0,96\%$ . Los resultados obtenidos vislumbran el potencial de cocona, canangucha y arazá como fuentes de pectina.

**Palabras clave:** Ingredientes, fuentes, valorización, biodiversidad.

## Abstract

In this study, the pectin content was evaluated of edible and non-edible parts of nine Amazon fruits characterized physicochemically, in order to establish their technological capacity for pectins extraction was evaluated. Besides for the preliminary phytochemical march was selected samples with more pectin content for performed. The highest percentage of pectin in the non-edible part, was found in the exocarp dehiscente of matandrea (*Renealmia alpinia*)  $18,92 \pm 2,69\%$ , in the fibrous mesocarp of canangucha (*Mauritia flexuosa*)  $13,26 \pm 0,98\%$  and the peel of cocona (*Solanum sessiliflorum*)  $12,19 \pm 0,69\%$ . In the edible part was the mesocarp of fruits cocona with  $12,12 \pm 1,73\%$  and arazá (*Eugenia stipitata*) with  $10,85 \pm 0,96\%$ . The results envisioned the potential of cocona, canangucha and arazá as sources of pectin.

**Keywords:** ingredients, sources, valorization. Biodiversity.

## 1.1 Introducción

Colombia hace parte de los nueve países que tienen la fortuna de pertenecer a La Amazonía (Figura 1-1), una selva húmeda tropical con una riqueza ecosistémica y biodiversidad invaluable, que se encuentra en los departamentos del Amazonas, Caquetá, Guaviare, Guainía, Putumayo, Vaupés y una parte de los departamentos de Vichada, Meta, Cauca y Nariño (Gutiérrez *et al.*, 2004), contribuyendo a que sea uno de los 14 países que alberga el mayor índice de biodiversidad del planeta (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible y PNUD, 2014); unas 8000 especies de plantas han sido registradas e identificadas por el Herbario Amazónico Colombiano (COAH) (SINCHI, 2016), entre las que se encuentran *Renealmia alpinia*, *Anacardium occidentale*, *Mauritia flexuosa*, *Pourouma cecropiifolia*, *Solanum sessiliflorum*, *Astrocaryum aculeatum*, *Euterpe precatoria*, *Eugenia stipitata* y *Myrciaria dubia*, descritas en la Tabla 1-1.

**Figura 1-1:** Mapa de la región de la Selva Amazónica.



Fuente: <http://www.sinchi.org.co/index.php/reg-amaz/la-selva>.

Muchas de estas especies, contienen una gran cantidad de compuestos bioactivos que faltan por descubrir, cuantificar y evaluar su potencial para ser una fuente productiva; como la pectina, un insumo apetecido por sus beneficios para la salud humana y por sus propiedades funcionales que permiten su aplicabilidad en diferentes nichos de mercado, además que podría ser una alternativa que contribuya a un manejo integral de los recursos naturales, conservación de la biodiversidad y de producción sostenible para el desarrollo económico y social de la región.

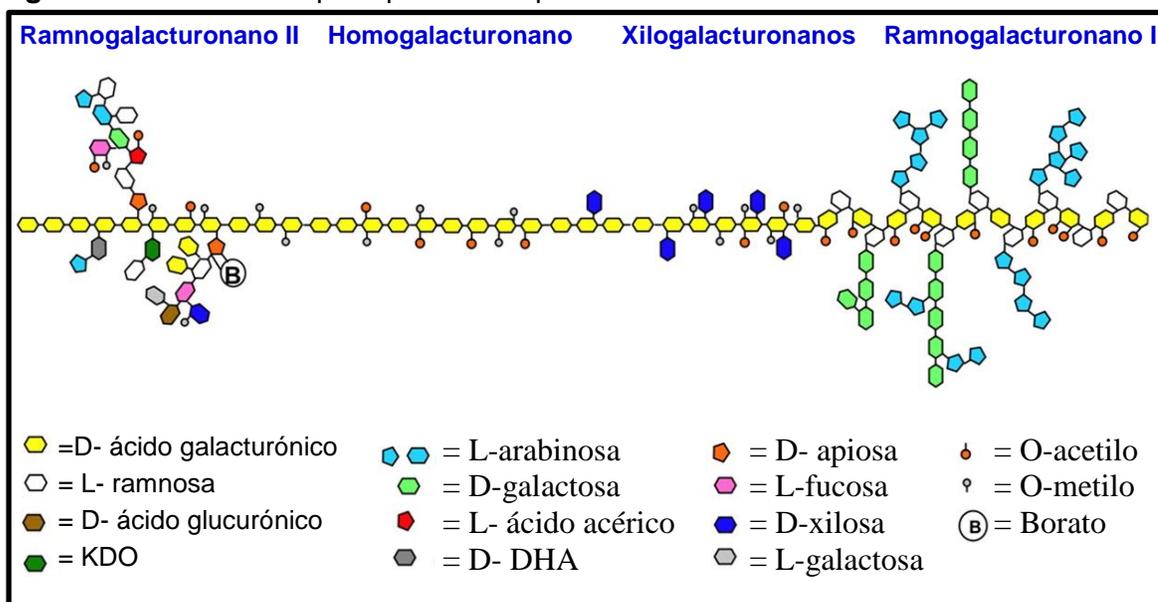
Tabla 1-1: Algunas especies promisorias de la Amazonia colombiana.

Familia	ZINGIBERACEAE	ANACARDIACEAE	ARECACEAE	SOLANACEAE	ARECACEAE
Nombre científico	<i>Renealmia alpina</i>	<i>Anacardium occidentale</i>	<i>Mauritia flexuosa</i>	<i>Solanum sessiliflorum</i>	<i>Astrocaryum aculeatum</i>
Nombre común	matandrea, achira de monte, pintura negra <sup>1</sup>	marañón, caju, merey, cashew tree, cajuil, cajueiro, cashu <sup>3</sup>	canangucha, aguajé, moriche, miriti, buriti, buritirana, Achual <sup>6</sup>	coccona (ecotipo III), cubiu, Topiro <sup>8</sup> .	cumare, tucum, wammi, toke iba, chonta, tucuma <sup>10</sup>
Clasificación morfológica	cápsulas elipsoides <sup>1</sup>	drupa reniforme unida a un pseudofruto <sup>4</sup>	drupa, elíptica u oblonga <sup>7</sup>	baya <sup>8</sup>	drupas subglobosas a elipsoidales <sup>11</sup>
Indicador de madurez de consumo	rojizo a negrozco morado en el exocarpo <sup>2</sup>	coloración del pseudofruto propia de la variedad (rojo brillante) <sup>5</sup>	exocarpo con tonalidad café – rojizo y mesocarpo carnoso y aceitoso <sup>6</sup>	tonalidad naranja marrón claro en el epicarpo <sup>9</sup>	exocarpo verde amarillento a anaranjado <sup>12</sup>
Familia	ARECACEAE	URTICACEAE	MYRTACEAE	MYRTACEAE	MYRTACEAE
Nombre científico	<i>Euterpe precatoria</i>	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	<i>Myrciaria dubia</i>	<i>Eugenia stipitata</i>	
Nombre común	asaí, guasaí, manaco, manaqué, palmiche, açai, palmito, manaca <sup>13</sup>	uva caimarona y caimarón, uvilla, mapati, uva de mata cocura y cucura	camu camu, camo camo, caçari, arazá de agua, guayabo	arazá, araca-boi, guayaba peruana, guayaba brasileña	
Clasificación morfológica	drupa globosa <sup>14</sup>	drupa ovoide o esférica	bayas globosas de superficie lisa	baya globosa-concava o esférica	
Indicador de madurez de consumo	desprendimiento de color morado al contacto <sup>13</sup>	epicarpo áspero, fibroso de color violáceo negro <sup>15</sup>	color rojo en el 100% de la superficie del fruto <sup>16</sup>	tonalidad amarilla en el epicarpo <sup>17</sup>	

Fuente: <sup>1</sup>Alarcón et al., 2008; <sup>2</sup>Macía, 2003; <sup>3</sup>Galdámez, 2004.; <sup>4</sup>Ramos et al., 2004.; <sup>5</sup>Velásquez de Klimo, 2006; <sup>6</sup>Castaño-Arboleada et al., 2007; <sup>7</sup>Trujillo-González et al., 2011; <sup>8</sup>Barrera et al., 2011; <sup>9</sup>Hernández et al., 2007; <sup>10</sup>Smith, 2015; <sup>11</sup>Gentil y Ferreira, 2005.; <sup>12</sup>Leon, 2000.; <sup>13</sup>Castro Rodríguez et al., 2015.; <sup>14</sup>Padilha de Oliveira et al., 2015; <sup>15</sup>González y Torres, 2010.; <sup>16</sup>Hernández y Barrera, 2010.; <sup>17</sup>Hernández et al., 2006.

La pectina es un biopolímero con una estructura compleja que comprende varios dominios de polisacáridos principalmente homogalacturonano (HGA), ramnogalacturonano I (RG-I) y galacturonanos sustituidos como ramnogalacturonano II (RG-II), que se cree que son reticulados covalentemente entre sí (Figura 1-2); también se han descrito otras estructuras de menor influencia como los xilogalacturonanos, apiogalacturonanos, galactogalacturonanos, arabinogalacturonanos y galacturonogalacturonanos (Leivas *et al.*, 2016).

**Figura 1-2** Dominios principales de la pectina.



Fuente: Harholt *et al.*, 2010.

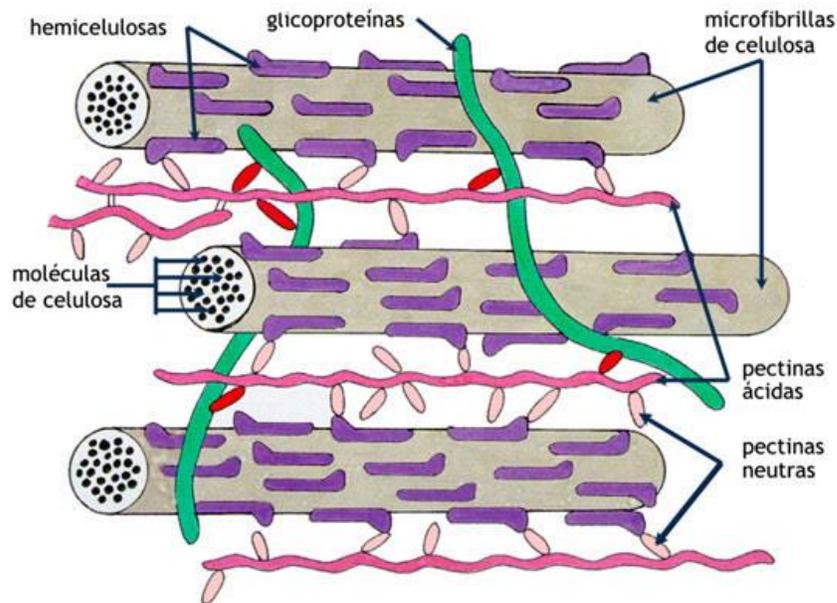
HGA, es el dominio péctico más abundante que representa el 70-80% de la estructura pectica, tiene una cadena lineal constituida por enlaces  $\alpha$  (1-4) del ácido D-galacturónico parcialmente metilesterificados en el C-6 o acetilados en el O3-O2; RG-I es un dímero constituido por ácido D-galacturónico (Gal) y ramnosa (Rha) [ $\alpha$  -1,4 -D-Gal-  $\alpha$  -1,2-L-Rha]<sub>n</sub>, la Rha puede estar sustituida entre el 20-80% con oligosacáridos neutros como arabinofuranosa y galactosa, además se puede encontrar en las cadenas laterales fucosa, glucopiranososa y 4-O-metil-glucopiranososa; finalmente, RG-II tiene la estructura más compleja de los polisacáridos pecticos que constituye el 10% de la estructura, presenta una pequeña columna vertebral de HG con cadenas laterales de diferentes azúcares como ácido D-galacturónico, L-ramnosa, D-galactosa, L- arabinosa, D-xilosa,

D-glucosa, L-fucosa, D-manosa y ácido D-glucurónico (Munarin *et al.*, 2012; Santiago *et al.*, 2016).

La pectina se localiza en la lamela media y la pared celular primaria de los tejidos mesenquimáticos y parenquimáticos de muchas plantas superiores (Chasquibol *et al.*, 2008); se encuentra en los frutos inmaduros como protopectina insoluble en agua, que se transforma en pectina soluble durante el proceso de maduración, y en la sobremaduración por acción de las enzimas pectinolíticas poligalacturonasa y pectinmetilesterasa, se producen sustancias pécticas de cadenas cortas y con menores propiedades gelificantes y espesantes, denominadas ácidos pécticos (Ferreira, 2007). La pectina es sintetizada dentro del aparato de Golgi y transportada a la membrana celular dentro de las vesículas, donde es expulsada y forma un retículo entrecruzado entre otros compuestos, que contribuye a la adhesión intercelular y a las propiedades mecánicas y físicas de la pared (Wicker *et al.*, 2014).

La pared celular primaria es un complejo químico dinámico formado principalmente por microfibrillas de celulosa, hemicelulosas, pectina, proteínas estructurales como extensinas, expansinas, de arabinogalactano, ricas en hidroxiprolina y prolina; compuestos fenólicos e inorgánicos, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  (Figura 1-3) (Caffall *et al.*, 2009). Su contenido varía entre las especies vegetales, grado de madurez y parte de la fruta. Han propuesto dos modelos estructurales para la pared celular primaria, diferenciada por su contenido de pectina y compuestos, Tipo I, con xiloglucanos, extensina y pectina en una proporción del 20 al 35% y Tipo II, con menor cantidad de pectina (aproximadamente 10%), glucoarabinoxilanas y compuestos fenólicos (Canteri *et al.*, 2012).

**Figura 1-3:** Estructura esquemática de una pared celular vegetal.



Fuente: <http://www.asturnatura.com/articulos/envoltura-celular/pared-celular.php>.

Su descubrimiento se le atribuye a Vauquelin en 1790, pero hasta 1825 fue descrita por Braconnot como el agente gelificante de las frutas, quién la denominó pectina, de la palabra griega “pektikos” que significa “congeal, solidificar o cuajar” (Ferreira, 2007; Yapó, 2011). La primera producción de extracto de pectina líquida fue realizada en 1908 en Alemania, extendiéndose rápidamente a los Estados Unidos, a partir de pulpa de manzana. Más tarde, en 1923, Smolenski la identificó como un polímero complejo, comparable en estructura al almidón, pero después de realizar un análisis de rayos X, se indicó que era más lógico compararla con la estructura de la celulosa. Su fórmula química básica se estableció hasta 1937 por Schneider y Bock (Canteri, *et al.* 2012).

La pectina es uno de los compuestos naturales de gran consumo y demanda industrial por su multifuncionalidad, atribuida a sus propiedades físicas y a la presencia de regiones polares y apolares dentro de su molécula (Franco-Castillo *et al.*, 2010), además es biocompatible, biodegradable y no toxica (Bello-Lara *et al.*, 2014). Está catalogada como una fibra dietética soluble, con efectos favorables en la salud humana, anticancerígena, estimulante de la respuesta inmune, reduce el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, por su efecto en los niveles de colesterol y lipoproteínas de baja

densidad, y la intolerancia a la glucosa en diabéticos (Addosio *et al.*, 2005). Es ampliamente utilizada en la industria de alimentos como agente gelificante, estabilizante para dispersiones coloidales (Wicker *et al.*, 2014), espesante, texturizante y emulsificante, por su carácter anfifílico que ayuda a reducir la tensión interfacial entre las fases de aceite y agua (Guerra–Rosas *et al.*, 2016). Se ha utilizado para la producción mermeladas, jaleas, confituras, compotas, yogures, helados, salsas, bebidas, zumos de frutas, postres, bebidas de leche acidificada, soluciones para recubrir salchichas y carnes enlatadas (Ferreira, 2007; García y Penagos, 2011; Kermani *et al.*, 2015) y en películas comestibles (Pérez Espitia *et al.*, 2014; Tripathi, Mehrotra y Dutta, 2010).

Además es usada en la industria farmacéutica por su capacidad de encapsular y proteger bioactivos para la administración dirigida de fármacos y fitoquímicos (Wicker *et al.*, 2014), en medicina para la cicatrización y la Ingeniería de tejidos (Munarin *et al.*, 2012), en la industria cosmética para pastas dentales, ungüentos, aceites, cremas, desodorantes, tónicos capilares, lociones de baño y productos de limpieza personal (Chasquibol *et al.*, 2008), En otras industrias, para la adsorción de iones metálicos de efluentes industriales (Cartaya *et al.*, 2009; García *et al.*, 2013), como vehículo en la preparación de suspensiones de sulfato de bario para radiografías por rayos X, en metalurgia se emplea para substituir los aceites empleados para dar dureza al acero, además para la producción de adhesivos, papel, espumas, plastificantes, barnices, fibras y explosivos (Ferreira, 2007; Mohnen, 2008).

Su extracción comercial se realiza a partir de cáscara de cítricos, orujo de manzana, remolacha azucarera y girasol, por su rendimiento y calidad; aunque son preferidas las pectinas obtenidas de la cascara de limón, por su color y rendimiento que oscila entre 25-35% (Cybercolloids, 2013; Wang, *et al.* 2007).

Estas pocas fuentes han generado el interés en el ámbito científico de la búsqueda de nuevas biomásas que permitan obtener una cantidad representativa de pectina a un costo razonable y con las propiedades funcionales requeridas. Como los trabajos desarrollados con la cáscara de maracuyá (Addosio *et al.*, 2005; Kulkarni y Vijayanand, 2010), con la ciruela japonesa (Basanta *et al.*, 2012), con el cacao (Franco-Castillo *et al.*,

2010; Vriesmann *et al.*, 2012), en Mango común, mora de castilla, uchuvas y residuos de la industrialización de la piña, en el plátano (Bello-Lara *et al.*, 2014), entre otros.

Sin embargo son pocos los registros de investigaciones llevadas a cabo en plantas frutales de la Amazonia como los desarrollados por Muñoz-Ordoñez, 2011 en Cocona y en camu-camu (Nascimento Filho *et al.*, 2014).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el contenido de pectina de la parte comestible y no comestible de nueve frutos de la región Amazónica Colombiana, y caracterizarlos de manera físico-química para establecer su grado de madurez y su composición porcentual de corteza, pulpa y semilla. Además realizar la marcha fitoquímica preliminar a las dos fuentes elegidas para el estudio posterior de las condiciones óptimas de extracción de pectina.

## **1.2 Materiales y métodos**

### **1.2.1 Materia Prima**

Para el análisis se recolectaron muestras de nueve frutos amazónicos de acuerdo con el calendario fenológico de la especie y provenientes de lugares de la región amazónica Colombiana con natural abundancia de ellos: marañon, matandrea y arazá, en el Caquetá; canangucha, en San José del Guaviare; cocona, uva caimarona, tucuma y camu-camu, en Leticia y asaí, en Mitú.

Se transportaron a la ciudad de Bogotá, al laboratorio de uso y aprovechamiento de la Biodiversidad del SINCHI. Inicialmente se realizó su caracterización física, para luego almacenar los frutos en bolsas plásticas de polietileno lineal de baja densidad (LDPE) a -18°C hasta su posterior tratamiento y análisis químico.

### **1.2.2 Caracterización físico-química**

Se realizó la caracterización físico-química a 30 unidades de cada especie con las metodologías que se especifican a continuación, evaluando su contenido de humedad, tamaño, peso, composición macroscópica en peso, pH, acidez y contenido de sólidos

solubles. Por las condiciones de transporte en las que llegaron los frutos, no se realizaron los análisis físicos al fruto camu-camu y los químicos a los frutos de la palma (canangucha, tucuma y asaí) y matandrea.

### Características físicas

- **Diámetro longitudinal (DL) y transversal (DT):** El tamaño de los frutos se determinó utilizando un calibrador electrónico en milímetros con resolución de 0,1 mm (marca Baker Swiss) y un rango de medida entre 0 – 150 mm. El diámetro longitudinal se midió desde el extremo basal al extremo apical del fruto y el transversal en la parte media más ancha del fruto.
- **Peso fresco:** Se utilizó una balanza analítica marca Ohaus AR 2140, capacidad: 210 g,  $d=0.0001$  g. Los resultados se reportaron en unidades de masa del sistema internacional (g).
- **Composición macroscópica del fruto en peso:** Se separaron las partes comestibles y no comestibles de los frutos y pesaron en una balanza analítica marca Ohaus AR 2140, capacidad: 210 g,  $d=0.0001$  g. Los resultados se expresaron en términos de composición relativa al peso total del fruto.

### Características químicas

- **pH:** Se determinó utilizando un pH-metro de mesa serie pH700 marca Oakton Instruments, calibrado con solución buffer pH 4.0 y pH 7.0; Método 981.12 (AOAC, 1997).
- **Acidez titulable:** Se realizó por titulación con NaOH 0,1N a la muestra previamente homogenizada, pesada y diluida con agua destilada, utilizando fenolftaleína como indicador; Método 942.15 (AOAC, 1997).
- **Contenido de sólidos solubles (°Brix):** Se determinó usando un refractómetro digital portátil marca Atago Modelo Pocket PAL- $\alpha$  y los resultados se expresaron como gramos de sacarosa por 100 g de producto (ICONTEC, 1999).

- **Índice de madurez:** Se calculó con el contenido de sólidos solubles y la acidez total evaluadas; y por observación al color del mesocarpio a los frutos a los cuales no se les realizó esa caracterización.
- **Contenido de humedad:** Se utilizó el método gravimétrico, secando peso conocido de la muestra húmeda en un horno de conducción a 70 °C hasta peso constante, previamente pesada en una balanza analítica (marca Ohaus AR 2140, capacidad: 210g, d=0.0001g) y se expresó como porcentaje peso a peso, Método 920.151 (AOAC, 1997).

### 1.2.3 Contenido de pectina

Para evaluar el contenido de pectina, se utilizaron diferentes fuentes de material vegetal no comestible y comestible de nueve frutos amazónicos (Tabla 1-2); utilizando el método gravimétrico de Rangana ajustado (Kulkarni y Vijayanand, 2010; Begum *et al.*, 2014).

**Tabla 1-2:** Partes de los frutos amazónicos seleccionados para evaluar el contenido de pectina.

Fruto amazónico	Parte no comestible	Parte comestible
Marañón	N.A.*	Pseudofruto
Matandrea	Exocarpo	Endospermo
Canangucha	Cáscara Mesocarpio fibroso Endocarpo y semilla	Mesocarpio oleoso
Arazá	Cáscara Endocarpo y semilla	Mesocarpio
Uva caimarona	Cáscara	Mesocarpio
Cocona	Cáscara Semilla	Mesocarpio
Tucuma	Cáscara Endocarpo y semilla	Mesocarpio
Camu-Camu	Cáscara Endocarpo y semilla	N.A.
Asai	N.A.	Fruto completo

\*N.A: No aplica

Se utilizaron para la determinación 15 g de muestra seca, con un tamaño de partícula menor a 30 mesh y 400 mL de ácido clorhídrico 0,05N; se calentó a 85°C por 2h.,

procurando mantener la relación sólido: líquido durante todo el proceso, luego se enfrió y se llevó a 500mL con agua destilada. El extracto se filtró con papel Whatman No. 4. Luego se tomaron 100mL del filtrado, se diluyeron con 250mL de agua destilada y se neutralizaron con NaOH 1N, utilizando fenolftaleína como indicador. Se le agregó 10mL de NaOH 1N adicionales con agitación constante. La mezcla se dejó en reposo durante toda la noche.

Se le adicionó 50mL de ácido acético 1N y a los 5min, 25mL de solución de cloruro de calcio 1N con continua agitación. Se dejó en reposo durante 1h y en ebullición durante 2 min. La pectina precipitada en forma de pectato de calcio, se filtró con papel filtro Whatman No. 4, se lavó con agua destilada caliente hasta que quedo libre de cloruros. Se secó a 100°C por 2h, luego se enfrió en un desecador y se pesó. El contenido de pectina se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Pectina base seca} = \frac{\text{peso de pectato de calcio (g)} \times 500\text{mL} \times 100}{\text{peso de muestra seca} \times 100\text{mL}}$$

Para corroborar este análisis cuantitativo en la parte de los frutos amazónicos seleccionados con mayor contenido de pectina, se empleo el método convencional de calentamiento para su extracción con las condiciones recomendadas por Kulkarni y Vijayanand, 2010 y Vasquéz *et al.*, 2008; utilizando agua de la llave acidificada con HCl a pH 2.0, RSS 1:30 m:v a 92,5°C durante 60min y para su filtración papel filtro No. 3.

#### **1.2.4 Marcha fitoquímica preliminar**

Se realizó una marcha fitoquímica preliminar para identificar cualitativamente los metabolitos secundarios que se encuentran en las dos matrices seleccionadas con mayor contenido de pectina, que podrían afectar la pureza de este hidrocoloide después de su extracción, utilizando las metodologías recopiladas por Gallego (2016), Cardona (2012) y Ordúz (2012).

El extracto etanólico se preparó con aproximadamente 100 g de muestra previamente secada a 50 °C hasta peso constante, molida y mezclada con tres volúmenes de etanol al 96% v/v durante 3 días a temperatura ambiente. Luego el solvente se filtró con papel

de filtro Boeco Germany grado 3hw y se concentró por destilación a vacío en un rotaevaporador marca Heidolph Kasai. Luego se prepararon cuatro fracciones de diferente polaridad, disolviendo el extracto crudo en etanol 99,5% v/v, agua, HCl al 5% v/v y clorofomo 99,2% v/v.

La fracción etanólica se utilizó para la identificación de taninos, flavonoides, cardiotónicos, sesquiterpenlactonas y cumarias; La fracción acuosa para saponinas; la ácida para alcaloides y la fracción con cloroformo para el reconocimiento de esteroides.

### **1.2.5 Análisis estadístico**

Se utilizó la estadística descriptiva para analizar los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de los frutos amazónicos, con medidas de tendencia central y de dispersión.

A los resultados del contenido de pectina se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía o un factor y la prueba de comparación múltiple Tukey HSD (95%), utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI y para eliminar datos anómalos se utilizó la prueba de Q de Dixon (95%).

## **1.3 Resultados y discusión**

### **1.3.1 Características morfológicas de los frutos amazónicos evaluados**

En la tabla 1-3 se observan los valores del tamaño y peso de los frutos amazónicos estudiados. Los valores obtenidos en la matandrea, varían a los reportados por Macía (2003): en el diámetro longitudinal  $28,5 \pm 3,40$  mm [rango de 20 – 36 mm], transversal  $21,9 \pm 2,30$  mm [rango 17 – 26 mm] y peso  $7,72 \pm 2,08$  g [rango 4 - 13,1 g]. El marañón no varía el tamaño del fruto al reportado por Guerrero *et al.* (2008), con un DL:  $33,0 \pm 1,40$  mm y DT:  $21,5 \pm 0,90$  mm, ni el DT del pseudofruto:  $56,9 \pm 2,1$  mm pero si el peso del fruto:  $18,31 \pm 0,92$  g, pseudofruto:  $167,17 \pm 11,13$  g y el DL del pseudofruto:  $100,5 \pm 3,6$  mm. Los resultados obtenidos en la uva caimarona son relativamente similares a los reportados por Gonzales-Coral (2002), en los frutos de Iquito-Perú con DL

en un rango de 22,8 - 31,9 mm y DT entre 19,3 - 30,9 mm y los obtenidos en la canangucha difieren a los reportados por Vásquez-Ocmín *et al.* (2009) en el peso del fruto:  $54,59 \pm 2,38$  g, DT:  $38,5 \pm 0,03$  mm y DL:  $54,5 \pm 0,18$  mm, estas discrepancias están directamente relacionadas a las condiciones ambientales y características del suelo que generan una gran plasticidad fenotípica.

**Tabla 1-3:** Diámetro Longitudinal (DL), Diámetro transversal (DT) y Peso de diferentes Frutos Amazónicos enteros.

Fruto Amazónico	DL (mm)	DT (mm)	Peso de fruto (g)
Matandrea	$38,8 \pm 5,7^*$ [25,6 - 50,0]	$27,3 \pm 3,0$ [22,3 - 33,5]	$15,9127 \pm 5,0683$ [7,5376 - 26,9598]
Fruto de marañón	$31,3 \pm 2,2$ [26,7 - 35,3]	$24,0 \pm 1,6$ [ 21,1 - 27,6]	$5,8062 \pm 1,0428$ [4,0855 - 7,8547]
Pseudofruto de Marañón	$50,6 \pm 6,1$ [40,4 - 65,1]	$45,2 \pm 4,3$ [38,5 - 57,1]	$50,9988 \pm 11,7800$ [35,2407 - 96,1603]
Canangucha	$46,4 \pm 2,2$ [41,3 - 50,3]	$33,4 \pm 0,9$ [32,0 - 35,6]	$26,1027 \pm 3,0382$ [21,9187 - 35,2269]
Uva caimarona	$28,6 \pm 2,9$ [23,0 - 33,8]	$30,5 \pm 3,0$ [24,5 - 37,1]	$14,6982 \pm 3,7434$ [8,4320 - 22,9456]
Cocona	$53,7 \pm 3,0$ [47,7 - 61,2]	$68,2 \pm 4,1$ [61,1 - 77,6]	$128,2878 \pm 21,1083$ [93,8713 - 171,2109]
Tucuma	$51,7 \pm 8,0$ [41,4 - 63,1]	$41,1 \pm 4,3$ [34,5 - 47,9]	$45,6453 \pm 16,1251$ [24,1401 - 75,9451]
Asai	$12,0 \pm 0,7$ [10,2 - 13,5]	$12,3 \pm 0,9$ [10,1 - 13,8]	$1,4050 \pm 0,2673$ [0,8014 - 1,9342]
Arazá	$65,7 \pm 6,8$ [47,7 - 76,6]	$59,4 \pm 6,1$ [45,0 - 76,9]	$109,7365 \pm 27,0320$ [46,8323 - 165,5513]

\*  $\bar{x} \pm D.E.$  [valores Mínimo - Máximo]

### 1.3.2 Composición porcentual en peso

En la tabla 1-4 se encuentra la composición macroscópica de algunos de los frutos amazónicos evaluados, esos valores obtenidos difieren a los reportados por Gonzales Coral (2002) en la uva caimarona, pulpa: 59%, cáscara: 20% y semilla: 21%; Hernández *et al.* (2006) en el arazá Ecotipo Peruano, pulpa: 78,31% y semilla 17,52%.; y Hernández *et al.* (2004) en cocona gigante Ecotipo III, cáscara: 9,68%, pulpa: 82,44% y semilla: 7,92%. Los resultados del fruto tucuma son similares a los reportados por Moussa y Kahn (1997) en el rango del mesocarpio 15,0 – 33,0%.

**Tabla 1-4:** Composición en peso porcentual de los frutos amazónicos seleccionados.

Fruto amazónico	% Cascara	% Mesocarpio	% Semilla
Uva caimarona	10,84 ± 1,21	74,10 ± 2,88	15,05 ± 1,59
Arazá	4,15 ± 1,10	81,82 ± 2,19	14,03 ± 1,95
Tucuma	13,14 ± 1,82	28,92 ± 2,05	57,93 ± 2,55 <sup>1</sup>
Cocona	5,00 ± 0,87	88,85 ± 1,66	6,15 ± 1,23
Canangucha	17,76 ± 1,44	20,69 ± 1,79 <sup>2</sup> 9,15 ± 1,59 <sup>3</sup>	52,40 ± 2,61
Matandrea	71,12 ± 3,09 <sup>4</sup>	28,88 ± 3,09 <sup>5</sup>	N.E.
Marañón	89,49 ± 2,33 <sup>6</sup>	10,51 ± 2,33 <sup>7</sup>	N.E.

\*  $\bar{x} \pm D.E.$ ; N.E.: No evaluado; <sup>1</sup>Endocarpio y almendra; <sup>2</sup>Mesocarpio oleoso;

<sup>3</sup>Mesocarpio fibroso; <sup>4</sup>Exocarpo dehiscente; <sup>5</sup>Endospermo; <sup>6</sup>Pseudofruto; <sup>7</sup>Fruto.

### 1.3.3 Índice de madurez y características químicas

En la Tabla 1-5 se encuentran los resultados obtenidos en la determinación del índice de madurez y características químicas de algunos de los frutos amazónicos estudiados. El pH varía entre 2,47 y 4,23 y el contenido de sólidos solubles entre 3,80 y 10,19 °brix, arazá fue el fruto con el menor contenido. La uva caimarona y el camu – camu, fueron los frutos con el menor y mayor porcentaje de acidez, 0,31 y 5,60% de ácido cítrico, respectivamente, pero su contenido de sólidos solubles fue relativamente similar 9,91 y 9,44 °brix, y cercano al pseudofruto de marañón, que fue el que obtuvo el mayor contenido.

Los frutos analizados se encontraban en un estado de madurez de consumo. Los valores del pseudofruto de marañón fueron diferentes a los reportados por Guerrero *et al.* (2008), pH 3,57, 1,42% de ácido málico y 17°brix, pero se encuentran en el rango establecido por Filgueira *et al.*, 1999 y reportado por Yahia (2011), para los frutos maduros, pH: 3,5 – 4,5; acidez 0,22 - 0,52. Los valores obtenidos en el mesocarpio de arazá son relativamente similares a los reportados por Hernández *et al.* (2006), en el ecotipo brasilero de 2,88 y 3,4°Brix. La cocona cumple con el valor establecido de 4,0°brix en el contenido total de sólidos mínimo para estado de consumo (NTC propuesta por Barrera *et al.*, 2011), pero los valores obtenidos varían a los reportados por los mismos autores de 5,6 y 5,9°brix para el ecotipo III. El valor de pH y el contenido de sólidos solubles obtenido en la uva caimarona es similar al reportado por Gonzáles-Coral (2002) en el estado de madurez maduro de 4,4 y 8,00-18°brix pero difiere en la acidez de 0,16%. El contenido de sólidos solubles del fruto del camu-camu fue diferente al reportado por Salgado *et al.* (2012) en la primera cosecha de árboles de 3,5 años de la colección de germoplasma obtenido en Corpoica CI Macagual Caquetá y que se conserva en el CI la Libertad, de 4,46, 4,98 y 5,81, pero similar al valor obtenido de pH, el cual reporta 2,3, 2,5 y 2,6.

**Tabla 1-5:** Características químicas de frutos Amazónicos seleccionados.

Fruto Amazónico	pH	ATT %	SST (%) (°Brix)	Índice de madurez
Marañón <sup>1</sup>	3,94 ± 0,08*	0,50 ± 0,06 <sup>2</sup>	10,19 ± 0,74	20,54 ± 3,01
Uva caimarona	4,23 ± 0,11	0,31 ± 0,04 <sup>3</sup>	9,91 ± 1,21	32,70 ± 3,99
Cocona	3,45 ± 0,05	1,46 ± 0,14 <sup>3</sup>	6,39 ± 0,44	4,43 ± 0,47
Arazá	2,74 ± 0,10	2,09 ± 0,31 <sup>2</sup>	3,80 ± 0,34	1,85 ± 0,30
Camu camu	2,47 ± 0,04	5,60 ± 0,13 <sup>3</sup>	9,44 ± 0,20	3,82 ± 0,11

\* $\bar{x} \pm D.E.$ ; <sup>1</sup>Determinado en el pseudofruto; <sup>2</sup>Porcentaje de ácido málico; <sup>3</sup>Porcentaje de ácido cítrico; ATT: Acidez titulable; SST: Sólidos solubles.

### 1.3.4 Humedad

En la tabla 1-6, se puede observar los porcentajes de humedad de las diferentes partes de los frutos amazónicos. El resultado de la semilla de camu-camu es similar al reportado por Vega Vizcarra (2002) de 56,4%, pero difiere en el valor obtenido en la cáscara 87,1%

y el mesocarpio 91,95%. El pseudofruto de marañón tiene un valor similar al publicado por Sulbarán *et al.* (2013), de  $86,85 \pm 0,90\%$ , pero los valores de la matandrea difieren a los reportados por Idárraga, Á. M. (2015), de  $84,08 \pm 4,325\%$  en la cáscara y  $49,73 \pm 1,276\%$  en la semilla.

**Tabla 1-6:** Contenido de humedad de los frutos seleccionados para evaluar su contenido de pectina.

Fruto amazónico	Humedad (%)		
	Cascara*	Mesocarpio	Endocarpio y semilla
Matandrea	$90,99 \pm 0,86^1$	N.E.	$47,73 \pm 2,67^2$
Marañón	N.E.	$87,03 \pm 0,75^3$	N.E.
Canangucha	$46,96 \pm 1,09$	$55,74 \pm 2,05^4$ $65,99 \pm 2,26^5$	$50,14 \pm 1,57$
Uva caimarona	$69,74 \pm 1,97$	$87,58 \pm 0,71$	$47,78 \pm 2,46$
Cocona	$72,32 \pm 1,55$	$90,97 \pm 0,53$	$72,09 \pm 1,35$
Tucuma	$48,40 \pm 3,99$	$40,74 \pm 6,45$	$25,98 \pm 2,39^6$
Asai	N.E.	$36,51 \pm 2,49^7$	N.E.
Arazá	$84,49 \pm 1,04$	$93,72 \pm 0,46$	$51,86 \pm 1,65$
Camu – Camu	$82,42 \pm 1,56$	$88,38 \pm 0,23$	$54,47 \pm 2,11$

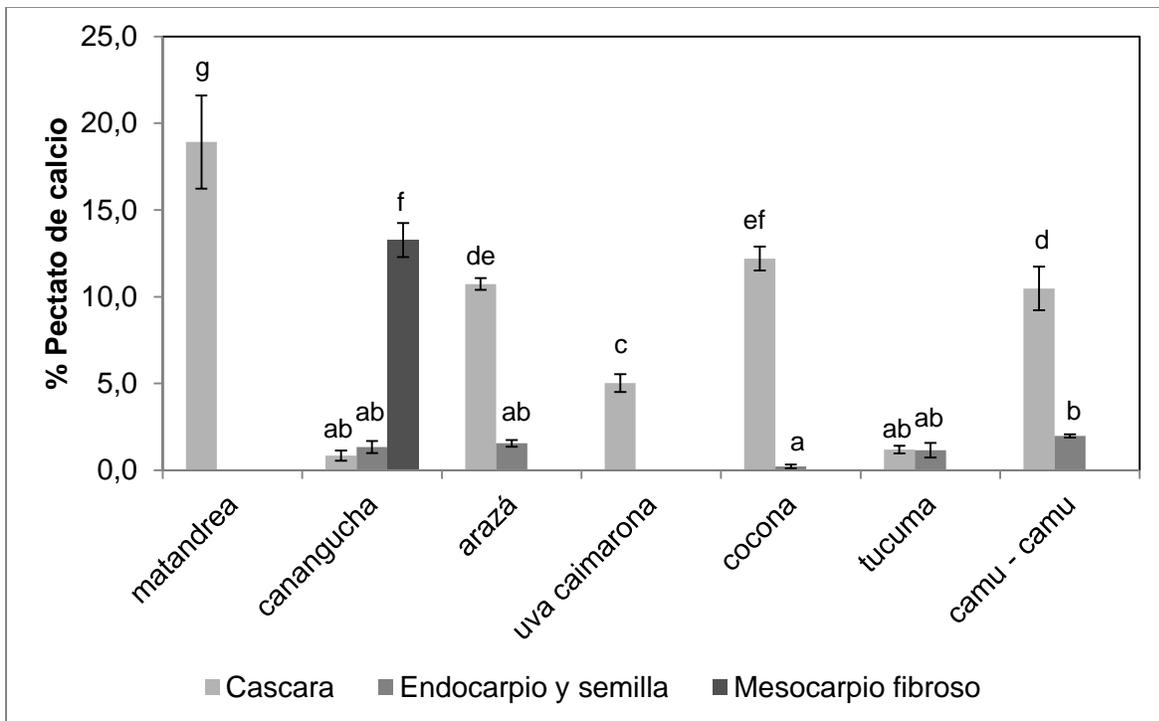
\* $\bar{X} \pm D.E.$ ; N.E.: No evaluado; <sup>1</sup>Exocarpo dehiscente, <sup>2</sup>Endospermo, <sup>3</sup>Pseudofruto, <sup>4</sup>Oleoso, <sup>5</sup>Fibroso, <sup>6</sup>Endocarpio y almendra, <sup>7</sup>Fruto completo.

### 1.3.5 Contenido de pectina de la parte no comestible de los frutos seleccionados

En la Figura 1-4 se observan los resultados obtenidos con diferencias estadísticamente significativas (ANOVA  $p < 0,05$ ), en la evaluación del contenido de pectina de la parte no comestible de los frutos estudiados. El mayor porcentaje se encontró en el exocarpo de la matandrea con  $18,92 \pm 2,69\%$ , seguido por el mesocarpio fibroso de la canangucha con  $13,26 \pm 0,98\%$  y la cáscara de cocona  $12,19 \pm 0,69\%$ . También tuvieron un alto porcentaje de pectato de calcio la cáscara de los frutos arazá, camu–camu y uva caimarona  $10,73 \pm 0,34\%$ ,  $10,48 \pm 1,26\%$  y  $5,03 \pm 0,51\%$  respectivamente.

Los menores valores se determinaron en la cáscara de tucuma  $1,19 \pm 0,22\%$  y canangucha  $0,83 \pm 0,29\%$ , y en las semillas de los frutos cocona  $0,21 \pm 0,10\%$ , tucuma  $1,15 \pm 0,42\%$ , canangucha  $1,33 \pm 0,35\%$ , arazá  $1,54 \pm 0,19\%$  y camu-camu  $1,97 \pm 0,09\%$ . El pectato de calcio obtenido en la matandrea tenía características físicas diferentes a las observadas en los otros frutos, y su rendimiento obtenido en la extracción con el método convencional fue bajo ( $1,59 \pm 0,02\%$ ), comparado con los logrados en el mesocarpio de la canangucha ( $12,82 \pm 0,11\%$ ) y la cáscara de cocona ( $8,18 \pm 0,08\%$ ). Estos valores no son superiores a los reportados por Lopez *et al.* (2000) en el albedo de la Cidra (*Citrus medica* L.) de  $15,69\%$  y Kulkarni y Vijayanand (2010) en la cáscara de maracuyá de  $16,3 \pm 0,10\%$ , que obtuvo un rendimiento en la extracción realizada por hidrólisis ácida de  $14,8\text{g}$  de pectina /  $100\text{g}$  de cáscara seca; pero son superiores a los reportados por Chasquibol *et al.* (2008) en el Nispero de la Sierra  $8,40\%$  y mesocarpio de la granadilla  $8,00\%$ .

**Figura 1-4:** Contenido de pectina de las partes no comestible de frutos amazónicos seleccionados (g de pectado. $100\text{g}^{-1}$  de materia seca).



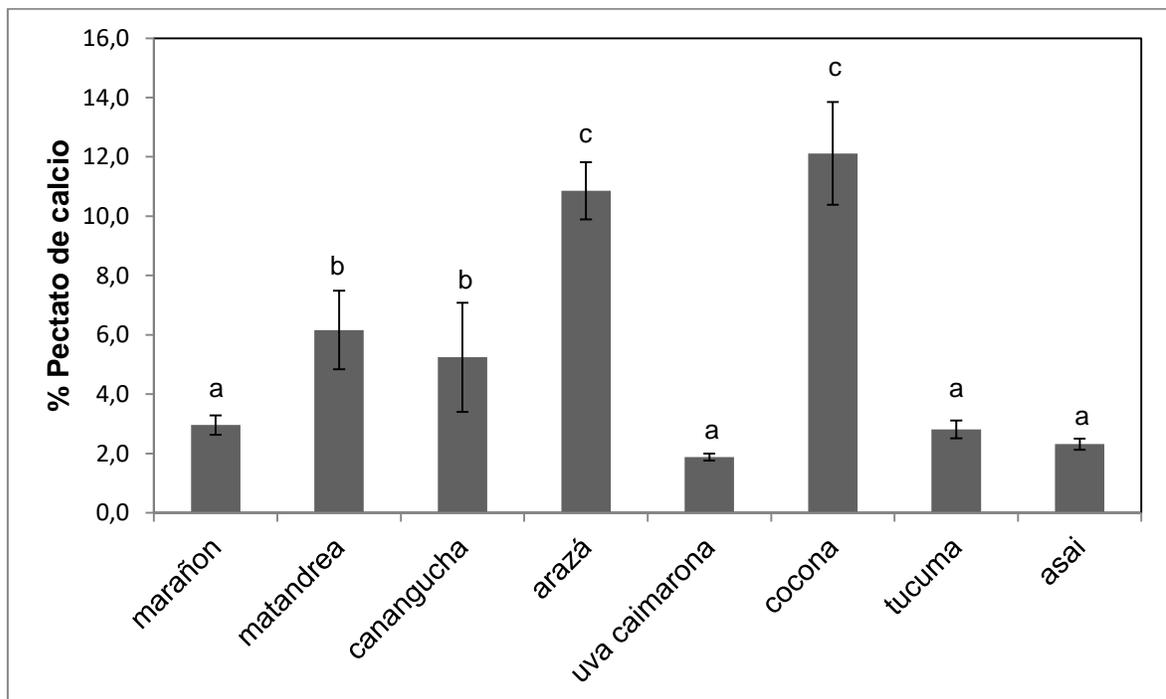
\*Media (n=9) con letras diferentes tienen diferencias estadísticamente significativas con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Las barras indican la desviación estándar.

### 1.3.6 Contenido de pectina de la parte comestible de frutos seleccionados

El porcentaje de pectato de calcio obtenido en la parte comestible de los frutos amazónicos tiene diferencias estadísticamente significativas (ANOVA  $p < 0,05$ ), el mayor porcentaje se encontró en el mesocarpio de los frutos cocona con  $12,11 \pm 1,73\%$  y arazá  $10,85 \pm 0,96\%$ , indicando su utilidad para la fabricación de mermeladas, jaleas y confituras. El endospermo de matandrea y mesocarpio oleoso de la canangucha, obtuvieron  $6,16 \pm 1,32\%$  y  $5,24 \pm 1,84\%$ , respectivamente (Figura 1-5).

Los menores valores se encontraron en el mesocarpio de la uva caimarona ( $1,87 \pm 0,12\%$ ), fruto completo de asaí ( $2,32 \pm 0,19\%$ ), mesocarpio de tucuma ( $2,81 \pm 0,30\%$ ) y el pseudofruto de marañon ( $2,96 \pm 0,33\%$ ).

**Figura 1-5:** Porcentaje de pectato de calcio de la parte comestible de frutos de la región amazónica colombiana.



\*Media (n=9) con letras diferentes tienen diferencias estadísticamente significativas con la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Las barras indican la desviación estándar.

### 1.3.7 Identificación cualitativa de metabolitos secundarios

Se realizó una marcha fitoquímica preliminar a la cáscara de cocona y al mesocarpio fibroso de canangucha (Tabla 1-7), que fueron la parte de los frutos con mayor contenido de pectina, para identificar otros compuestos que contribuiría a su reutilización y valorización, o que podrían generar interferencias a la pureza de la pectina extraída (Liu *et al.*, 2016; Bacelo *et al.*, 2016; Martínez-Flórez *et al.*, 2002; Martinez, 2002).

**Tabla 1-7:** Resultados obtenidos en la marcha fitoquímica preliminar realizada al mesocarpio fibroso de canangucha y la cáscara de cocona.

Metabolitos	Prueba	Canangucha	Cocona
Flavonoides y Leucoantocianidinas	Shinoda	+	+
	Ácido sulfúrico	+	+
	Rosenheim	+	-
	Ácido clorhídrico	+	-
Cardiotónicos y Sesquiterpenlactonas.	Kedde	+	+
	Baljet	+	+
	Legal	-	+
Cumarinas	Hidroxamato	-	-
	Ehrlich	±	±
Saponinas	Espuma en agua	-	-
	Espuma pH 1	-	-
	Espuma pH 13	-	-
Taninos	Cloruro férrico	+	-
	Acetato de plomo	+	+
	Gelatina- sal	+	+
Alcaloides	Draggendorff	-	-
	Hagger	+	-
	Bertrand	+	-
	Wagner	+	-
	Mayers	+	+
Esteroles	Liebermann – Burchard	-	-
	Salkowsky	+	+
Naftoquinonas y antraquinonas	Börntrager	+	-
	Acetato de magnesio	±	±
	Solubilidad Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-	±
	Solubilidad NAHCO <sub>3</sub>	±	+

\*[+]: prueba positiva; [-]: prueba negativa, [±]: resultado dudoso.

Los resultados indicaron la presencia de taninos, flavonoides, cardiotónicos y sesquiterpenlactonas, no se identificaron saponinas y solamente canangucha tiene alcaloides al dar positivo en cuatro de las pruebas realizadas; pero no se pudo confirmar la presencia de cumarinas, esteroles, naftoquinonas y antraquinonas en ninguna matriz

analizada (No se encontró estas matrices en estudios anteriores para hacer comparaciones).

## 1.4 Conclusiones

- Se realizó la caracterización fisicoquímica de los frutos amazónicos estudiados determinando su peso, tamaño, composición macroscópica, humedad de cada parte del fruto, pH, acidez y °Brix, información importante que representa una base para su uso tecnológico y aprovechamiento sostenible, además que permite establecer su estado de madurez, teniendo en cuenta que el estado de desarrollo en el que se encuentra el fruto influye considerablemente en la calidad y cantidad de pectina que se puede extraer.
- Esta investigación valoró el contenido de pectina en la parte comestible y no comestible de nueve frutos amazónicos, obteniendo los mejores resultados en el mesocarpio comestible de cocona (12,11%) y arazá (10,85%), y en la cáscara de cocona (12,19%) y mesocarpio fibroso de canangucha (13,26%).
- Se identificó en la cáscara de cocona y en el mesocarpio fibroso de canangucha, las dos matrices seleccionadas para la extracción de pectina, la presencia de taninos, flavonoides, cardiotónicos y sesquiterpenlactonas, y en la última matriz alcaloides, metabolitos que podrían generar interferencias que afecten directamente la pureza de la pectina.

## Bibliografía

Addosio, R. D.; Páez, G.; Marín, M.; Mármol, Z. y Ferrer, J. 2005. Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener). Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Zulia 22: 240 – 249.

Alarcón; J. C.; Martínez, D. M.; Quintana, J. C.; Jiménez, S., Díaz, A. y Jiménez, I. 2008. Propagación *in vitro* de *Renealmia alpinia* (ROTTB), planta con actividad antifúngica. Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 15 (1): 61-69.

---

AOAC. 1997. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th Edition, 3rd Revision. Washinton, D.C. USA.

Arrazola, G.; Alvos, A. y Osorio, J. 2013. Clarificación combinada y evaluación sensorial de jugo de marañón (*Anacardium occidentale* L.). Revista de Universidad de Córdoba. <http://revistas.unicordoba.edu.co/revistamvz/mvz-18supl/body/v18supla17.html>.

Bacelo, H. A. M.; Santos, S. C. R. y Botelho, C. M. S. 2016. Tannin-based biosorbents for environmental applications – A review. Chemical Engineering Journal 303: 575-587.

Barrera, J. A.; Hernández, M. S. y Melgarejo, L. M. 2011. Estudios ecofisiológicos en la Amazonia colombiana. Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 116p.

Basanta, M.F.; Ponce, N. M. A; Rojas, A. M. y Stortz, C. A. 2012. Effect of extraction time and temperature on the characteristics of loosely bound pectins from Japanese plum. Carbohydrate Polymers 89 (1): 230-235.

Begum, R.; Aziz, M.G.; Uddin, M.B. y Yusof, Y.A. 2014. Characterization of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) waste pectin as influenced by various extraction conditions. Agriculture and Agricultural Science Procedia 2: 244-251.

Bello-Lara, J. E.; Balois-Morales, R.; Sumaya-Martínez, M. T.; Juárez-López, P.; Rodríguez—Hernández, A. I.; Sánchez-Herrera, L. M. y Jiménez-Ruíz, E. I. 2014. Extracción y Caracterización reológica de almidón y pectina en frutos de plátano “Pera” (*Musa ABB*). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8: 1501-1507.

Caffall, K. H.; Pattathil, S.; Phillips, S. E.; Hahn, M. G. y Mohnen, D. 2009. *Arabidopsis thaliana* T-DNA Mutants Implicate *GAUT* genes in the Biosynthesis of Pectin and Xylan in Cell Walls and Seed Testa. Molecular Plant 2 (5): 1000-1014.

Canteri, M. H. G.; Moreno, L.; Wosiacki, G. y Scheer, A. d P. 2012. Pectina: da Matéria-Prima ao produto final. Polímeros 22 (2): 149-157.

Cartaya, O.; Peniche, C. y Reynaldo, I. 2009. Polímeros naturales recolectores de iones metálicos, Revista Iberoamericana de Polímeros 10 (2): 81-94.

Castaño-Arboleda, N.; Cárdenas, D. y Otavo, E. 2007. Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia CORPOAMAZONIA. Bogotá, Colombia. 266p

Castro Rodríguez, S. Y.; Barrera García, J. A.; Carrillo Bautista, M. P. y Hernández Gómez, M. S. 2015. Asaí (*Euterpe precatoria*): Cadena de valor en el sur de la región amazónica. Bogotá- Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 142p.

Chasquibol, N.; Arroyo, E. y Morales, J. C. 2008. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. Ingeniería Industrial 26: 175-199

Cardona, J. E. C. 2012. Documento con los resultados completos de la caracterización fitoquímica y química de dos (2) especies amazónicas con perfil para extracción de ingredientes naturales bioactivos, incluyendo la ficha técnica en el formato diseñado por el Instituto SINCHI. Producto No. 1, Orden de servicio No. 92 de 2012. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

Cybercolloids. 2013. Introduction to pectin-Sources. <http://www.cybercolloids.net/library/pectin/introduction-pectin-sources>.

Ferreira, Salomón. 2007. Pectinas: Aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial. Primera edición. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, Proceditor Ltda, 186p.

Franco-Castillo, M.; Ramírez Hernández, M.; García Gómez, R. S.; Bernal González, M.; Espinosa Aquino, B.; Solís Fuentes, J. A. y Durán de Bazúa, C. 2010. Reaprovechamiento integral de residuos agroindustriales: cáscaras y pulpa de cacao

para la producción de pectinas. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias 1 (2): 45-66.

Galdámez. A. 2004. Guía técnica del cultivo del marañón. Programa Nacional de frutas de El Salvador Frutal ES. 69p.

Gallego, K. A. 2016. Resultados finales del análisis fitoquímico preliminar de *Virola elongata*, *Iryanthera laevis* y *Protium sagotianum*. Producto No. 6, Contrato SGR No. 30 Bienio 2015-2016. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

García, C. y Penagos, G., C. E. 2011. El entorno comercial de la pectina en la industria alimentaria antioqueña. Envigado. 100h. Trabajo de grado (Ingeniería Administrativa). Escuela de Ingeniería de Antioquia.

García, V. R.; Borja, N. A.; Guzmán, E. R.; Yipmantin, A. G. y Maldonado, H. J. 2013. Equilibrio de biosorción de plomo (II) y Caracterización mediante FT-IR y SEM-EDAX en pectina reticulada proveniente de cáscaras de naranja. Revista de la Sociedad Química del Perú 79 (3): 256-264.

Gentil, D. F. de O. y Ferreira, S. A. d. N. 2005. Morfologia da plântula em desenvolvimento de *Astrocaryum aculeatum* Meyer (Arecaceae). Acta Amazonica 35 (3): 337-342.

González, A. y Torres, G. M. 2010. Manual Cultivo de Uvilla. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP. Iquitos, Perú. 43p.

Gonzales-Coral, A. 2002. Aporte a la caracterización y evaluación agronómica de *Pourouma cecropiifolia* C. Martius “Uvilla” en la Amazonía Peruana. Folia Amazónica 13 (1-2): 5- 24.

Guerra-Rosas, M. I.; Morales –Castro, J.; Ocha-Martínez, L. A.; Salvia-Trujillo, L. y Martín-Belloso, O. 2016. Long-term stability of food-grade nanoemulsions from high methoxyl pectin containing essential oils. Food Hydrocolloids 52: 438-446.

Guerrero, R.; Lugo, L.; Marín, M.; Beltrán, O.; León de Pinto, G. y Rincón, F. 2008. Caracterización físicoquímica del fruto y pseudofruto de *Anacardium occidentale* L. (merey) en condiciones de secado. Rev. Fac. Agrom. 25 (1): 81-94.

Guo, X.; Han, D.; Xi, H.; Rao, L.; Liao, X.; Hu, X. y Wu, J. 2012. Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A Comparison. Carbohydrate Polymers 88: 441-448.

Gutiérrez, F.; Acosta, L y Salazar, C. 2004. Perfiles urbanos en la Amazonia Colombiana: un enfoque para el desarrollo sostenible. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. 260p.

Harholt, J.; Suttangkakul, A. y Scheller, H. V. 2010. Biosynthesis of pectin. Plant Physiology 153: 384-395.

Hernández, M. S. y Barrera, J. A. 2010. Camu Camu. Bogotá – Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 162p.

Hernández, M. S.; Barrera, J. A. y Carrillo, M. 2006. Arazá. Bogotá – Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 146p.

Hernández, M. S.; Barrera, J. A.; Bardales, X. L. y Carrillo, M. P. 2007. Manejo y transformación de frutales nativos de la Amazonia. Revista Colombia Amazónica Edición especial: 191-204.

Hernández, M. S.; Barrera, J. A.; Páez, D.; Oviedo, E. y Romero, H. 2004. Aspectos biológicos y conservación de frutas promisorias de la Amazonia Colombiana. Bogotá - Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 150p.

ICONTEC. 1999. Jugos de frutas y hortalizas. Determinación del contenido de sólidos solubles. Método refractométrico. NTC 4624. Bogotá D. C., Colombia. 11p.

---

Idárraga, A. M. 2015. Producción de biomoléculas con aplicaciones cosméticas a partir de residuos de frutas. 96h. Trabajo de grado (Maestría en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química.

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 2016. El Instituto SINCHI identifica dos nuevas especies para la ciencia y el mundo de plantas amazónicas. [En línea] 2016. [Citado el: 5 de Septiembre de 2016.]<http://www.sinchi.org.co/index.php/historial/2672-el-instituto-sinchi-identifica-dos-nuevas-especies-para-la-ciencia-y-el-mundo-de-plantas-amazonicas>.

Kermani, Z. J.; Shpigelman, A.; Pham, H. T. T.; Loey, A. M. V. y Hendrickx, M. E. 2015. Functional properties of citric acid extracted mango peel pectin as related to its chemical structure. *Food hydrocolloids* 44: 424-434.

Kulkarni, S.G. y Vijayanand, P. 2010. Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT-Food Science and Technology* 43 (7): 1026 – 1031.

León, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. Editorial Agroamérica. Tercera edición Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José, Costa Rica. 522p.

Leivas, C. L.; Nascimento, L. F.; Barros, W. M.; Santos, A. R. S.; Lacomini, M. y Cordeiro, L. M. C. 2016. Substituted galacturonan from starfruit: Chemical structure and antinociceptive and anti-inflammatory effects. *International Journal of Biological Macromolecules* 84: 295 -300.

Liu, H.; Li, K.; Mingbin, L.; Zhao, J. y Xiong, B. 2016. Effects of chestnut tannins on the meat quality, welfare, and antioxidant status of heat-stressed lambs. *Meat Science* 116: 236-242.

López, S.; Arias, G. y Lozano, N. 2000. Determinación de metabolitos y extracción de pectina del Albedo de *Citrus medica* L. (Cidra). Ciencia e Investigación III (2): 63-68.

Macía, M. J. 2003. *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas (Zingiberaceae): planta comestible de la Sierra Norte de Puebla (México). Anales Jard. Bot. Madrid 60 (1): 183 – 187.

Martínez, A. (2002). Esteroides Cardiotonicos. Universidad de Antioquia. Facultad de química farmacéutica. [Citado el: 15 de Julio de 2015.] <http://farmacia.udea.edu.co/~ff/cardiotonicos.pdf>.

Martínez-Flórez, S.; González-Gallego, J.; Culebras, J. M. y Tuñón, M. J. 2002. Revisión. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Nutrición hospitalaria XVII (6): 271 – 278.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible y Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. 2014. Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica. Bogotá D.C., Colombia. 101p.

Mohnen, D. 2008. Pectin structure and biosynthesis. Current Opinion in Plant Biology 11 (3): 266 – 277.

Moussa, F. y Kahn, F. 1997. Uso y potencial económico de dos palmas, *Astrocaryum aculeatum* Meyer y *A. vulgare* Martius, en la Amazonia brasileña. Simposio Ecuatoriano de Etnobotánica y Botánica Económica. Quito – Ecuador. Uso y manejo de recursos vegetales: Memorias. Ediciones ABYA-YALA: 101-116.

Munarin, F.; Tanzi, M. C. y Petrini, P. 2012. Review- Advances in biomedical applications of pectin gels. International Journal of Biological Macromolecules 51 (4): 681 – 689.

Muñoz-Ordoñez, F. J. 2011. Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (*Solanum sessiliflorum*), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto. 68 h. Trabajo de grado (Maestría en Ingeniería Agrícola). Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Facultad de Ingeniería.

---

Departamento de Ingeniería Agrícola. Disponible en la Biblioteca digital de la Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/4006/1/822093.2011.pdf>.

Nascimento Filho, W. B. d.; Pompeu de Sousa, R. d. C.; Alves Chagas, E. y Melo Filho, A. A. 2014. Avaliação de rendimento de pectina extraída das cascas de frutos de Camu-camu provenientes da Amazônia Setentrional. XXIII Congresso Brasileiro de Fruticultura.

Ordúz, L. L. 2012. Metodologías a usar para la caracterización fitoquímica y pruebas de citotoxicidad empleando el modelo de *Artemia salina* para extracto etéreo, fracciones de cloroformo, acetato de etilo y de metanol. Primer producto, contrato No. 32 de 2012. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

Padilha de Oliveira, M. d. S.; Urano de Carvalho, J. E. y Oliveira do Nascimento, W. M. 2015. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.). [Citado el: 30 de Noviembre de 2015] [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Oliveiraetal\\_2000\\_000gbxyg1mg02wx5ok01dx9lcofu3hnb.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Oliveiraetal_2000_000gbxyg1mg02wx5ok01dx9lcofu3hnb.pdf).

Pérez Espitia, P. J.; Du, W.-X.; Avena-Bustillos, R. d. J.; Ferreira Soares, N. d. F. y McHugh, T. H. 2014. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties – A review. *Food Hydrocolloids* 35: 287-296.

Ramos, F.; Osorio, C.; Duque, C.; Cordero, C; Aristizábal, F.; Garzón, C. y Fujimoto, Y. 2004. Estudio químico de la nuez del Marañon gigante (*Anacardium giganteum*). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 28 (109): 565-575.

Salgado, N.; Ramirez, M. J.; Rojas, S. Beltran, Y. y Orrego, C. E. 2012. Polifenoles en tres accesiones de Camu – Camu (*Myrciaria dubia*). *Vitae* 19 (1): S360 – S362.

Santiago, J. S. J.; Christiaens, S.; Loey, A. M. V. y Hendrickx, M. E. 2016. Deliberate processing of carrot purées entails tailored serum pectin structures. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 33: 515-523.

Smith, N. 2015. Palms and people in the Amazon. Springer International Publishing. 470p.

Sulbarán, B.; González, B. y Fernández, V. 2013. Caracterización química y actividad antioxidante del pseudofruto de caujiil (*Anacardium occidentale* L.). Rev. Fac. Agron. (LUZ) 30: 454-469.

Tripathi, S. Mehrotra, G. K. y Dutta, P. K. 2010. Preparation and Physicochemical evaluation of chitosan/poly (vinyl alcohol)/pectin ternary film for food-Packaging applications. Carbohydrate Polymers 79: 711-716.

Trujillo-González, J. M.; Torres Mora, M. A y Santana Castañeda, E. 2011. La palma de moriche (*Mauritia flexuosa* L. f.) un ecosistema estratégico. Orinoquia 15 (1): 62-70.

Vásquez-Ocmín, P. G.; Sotero Solís, V. E.; Castillo Torres, D. D.; Freitas Alvarado, L. y Maco Luján, M. M. 2009. Diferenciación química de tres morfotipos de *Mauritia flexuosa* L. f. de la Amazonía Peruana. Rev. Soc. Quím. Perú 75 (3): 320 – 328.

Vega Vizcana, R. 2002. Desarrollo de tecnología de valor agregado para camu-camu en Ucayali. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana IIAP Ucayali, 45p.

Velásquez de Klimo, I. 2006. Manual de manejo poscosecha del marañón (*Anacardium occidentale* L.). Programa Nacional de frutas de El Salvador Frutal ES. 32p.

Vriesmann, L. C.; Teófilo, R. F. y Petkowicz, C. L. dO. I. 2012. Extraction and characterization of pectin from cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.) with citric acid. LWT - Food Science and Technology 49 (1): 108-116.

Wang, S.; Chen, F.; Wu, J., Wang, Z.; Liao, X. y Hu, X. 2007. Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology. Journal of Food Engineering 78: 693 – 700.

Wicker, L.; Kim, Y.; Kim, M.-J.; Thirkield, B.; Lin, Z. y Jung, J. 2014. Pectin as a bioactive polysaccharide – Extracting tailored function from less. *Food hydrocolloids* 42: 251-259.

Yahia, E. M. 2011. *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruit. Volume 2: Açai to citrus.* Woodhead Publishing limited.

Yapo, B. M. 2011. Pectic substances: From simple pectic polysaccharides to complex pectins – A new hypothetical model. *Carbohydrate Polymers* 66 (2): 373 – 385.

## **2.Extracción de pectina a partir de subproductos de canangucha y cocona, usando extracción asistida por microondas (EAM)**

### **Extraction of pectin from waste of Canangucha and Cocona using microwave assisted extraction (MAE)**

#### **Resumen**

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto individual e interacción de la potencia, pH, relación sólido: solvente (RSS), y tiempo de irradiación, en la extracción de pectina de subproductos del aprovechamiento de cocona y canangucha, utilizando la técnica de extracción asistida por microondas (EAM). El contenido de pectina extraído fue comparado con el método convencional y se les realizó el análisis proximal a las dos matrices estudiadas. Se utilizaron superficies de respuesta para optimizar el proceso de extracción. Las condiciones que permitieron un mayor rendimiento de extracción fueron para el mesocarpio de canangucha 770W, pH 1,5, RSS 1:20 g:mL durante 21 min con un rendimiento de pectina de bajo metoxilo de  $6,19 \pm 0,23\%$ , aunque con el método convencional fue de  $8,51 \pm 0,43\%$  y para la cáscara de cocona 880W, pH 1,1, RSS 1:15 g:mL durante 15 min, con un rendimiento de pectina de alto metoxilo de  $13,081 \pm 0,243\%$  y con contenido de ácido anhidrouónico (AUA) mayor al 65%.

**Palabras clave:** EAM, valorización, residuos agroindustriales, Taguchi.

## Abstract

The individual effects and interaction of power, pH, solid: liquid ratio, and irradiation time were evaluated to obtain pectin from waste from cocona and canangucha, using the technique of microwave assisted extraction (MAE). The extracted pectin content was compared with the conventional method and the proximal analysis was performed to the two matrices studied. Response surfaces are used to optimize the extraction process. Optimal conditions for extraction were 770W, RSS 1:20 g:mL, pH 1.5 for 21 min in canangucha mesocarp fibrous to yield of low methoxy pectin of  $6.19 \pm 0.23\%$ , although with conventional extraction method was  $8.51 \pm 0.43\%$  and for the peel cocona was 880 W, pH 1.1, RSS 1:15 g:mL for 15 minutes, with a yield of high methoxy pectin of  $13,081 \pm 0.243\%$  and content greater of anhidro-uronic acid (AUA) to 65%.

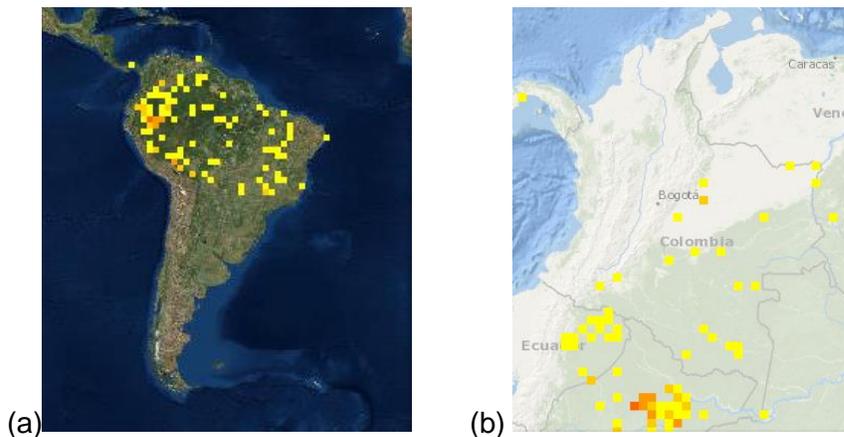
**Keywords:** MAE, added value, agro-industrial waste, Taguchi

## 2.1 Introducción

Canangucha y cocona, son dos especies de plantas no maderables de la Amazonia colombiana, con un alto poder de inclusión en diferentes nichos de mercado, por sus características organolépticas, nutricionales y funcionales, además por su variedad de alternativas de transformación agroindustrial (Barrera *et al.*, 2011; Lasso *et al.*, 2013).

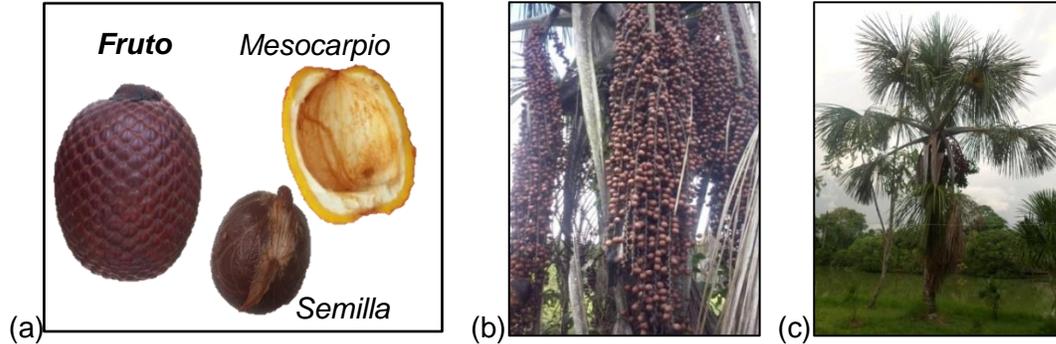
**Canangucha (*Mauritia flexuosa*)** es una palma monocotiledóneas acuática leñosa, perteneciente a la familia Arecaceae, con diferentes nombres comunes de acuerdo a la zona de distribución, como aguaje, moriche, buriti, miriti, achual, morete, palma real. Se encuentra distribuida en las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas y el piedemonte de la cordillera de los Andes hasta los 900 m de altitud (Figura 2-1), formando frecuentemente grandes agrupaciones a lo largo de cursos de agua y en zonas inundadas, denominadas cananguchales. En Colombia se encuentra en los llanos orientales, en el departamento de Arauca, en el piedemonte andino y en formaciones de sabanas y selva húmeda del Vaupés, Amazonas, Guainía, Guaviare, Caquetá, Vichada y Putumayo (Lasso *et al.*, 2013; Trujillo-Gonzalez *et al.*, 2011; Castaño-Arboleda *et al.*, 2007).

**Figura 2-1:** Distribución de *Mauritia flexuosa* en América (a) y Colombia (b).

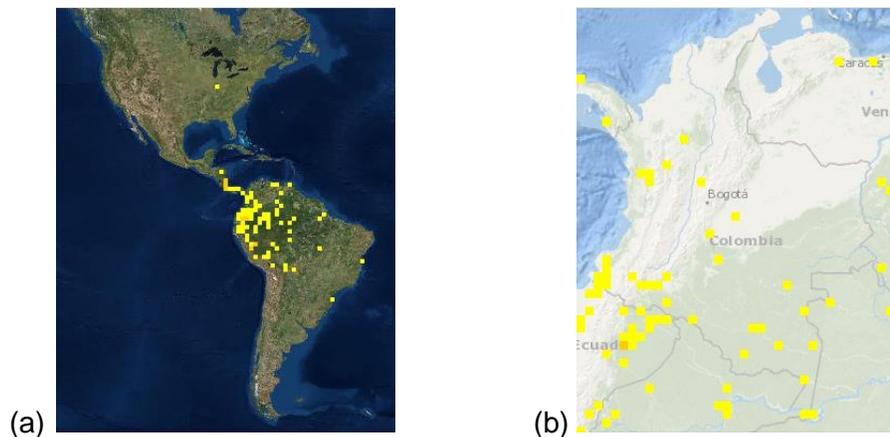


Fuente: <http://www.gbif.org/species/5294777>.

La palma presenta floración gregaria que dura entre 2-8 meses, con 4 a 7 inflorescencias por año, llegando a producir cerca de 480 frutos por cada una. El fruto es una drupa elíptica u ubloga de color café-rojizo, con un exocarpio pétreo de escamas imbricadas y un mesocarpio carnoso de color anaranjado y espesor variable (ver Figura 2-2), que tarda aproximadamente 4 meses en formarse y 4 meses en madurar. Es consumido directamente o procesado para la preparación de jugos, jaleas, mermeladas, cremas, helados, dulces, chicha, bollos, panecillos, tortas, puriche, aguajina y para la obtención de aceite de cocina (Hernández *et al.*, 2004; Castaño-Arboleda *et al.*, 2007; Trujillo-Gonzalez *et al.*, 2011). Ha sido considerado un alimento funcional por su efecto positivo en dislipidemias y disglucemias, y su alto contenido de carotenos, Vitamina A, C y E, compuestos fenólicos, ácidos grasos esenciales y fibra dietaria (Cordeiro *et al.*, 2015). Por lo que su demanda comercial solamente en Leticia fue de 435 toneladas anuales en el 2012 (Lasso *et al.*, 2013).

**Figura 2-2:** Fruto (a), racimos (b) y palma (c) de *Mauritia flexuosa*.

**Cocona (*Solanum sessiliflorum*)** es una especie nativa originaria del alto río Orinoco en el Amazonas Occidental, comúnmente llamada lulo amazónico, cubiu, topiro, maná-cubiu, maná, topiro y tomate de índio (Silva et al., 2011; Barrera et al., 2011); se encuentra en forma silvestre principalmente en las vegas de río y cultivada por nativos y colonos en los arreglos forestales y chagras de la cuenca amazónica del Brasil, Colombia, Perú, Ecuador y Venezuela (Figura 2.3). Es adaptable en suelos ácidos, neutros y alcalinos, de baja y alta fertilidad, con altitudes desde 0 hasta los 1500 m.s.n.m., temperaturas medias entre 18-30°C y precipitación pluvial anual entre 1500 y 4500 mm (Hernández et al., 2004; Cardona, 2011).

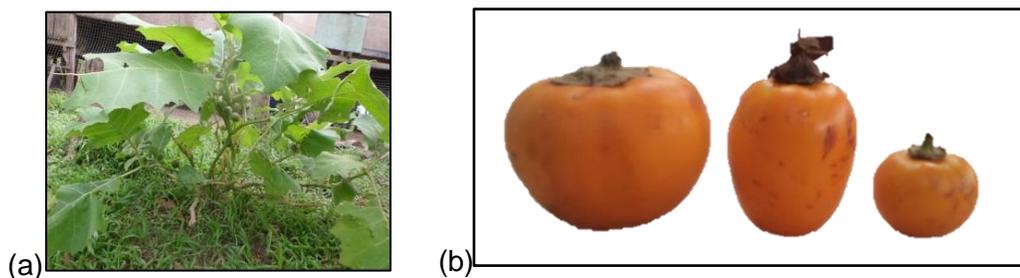
**Figura 2-3:** Distribución de cocona en América (a) y Colombia (b).

Fuente: <http://www.gbif.org/species/2930435>.

La planta es un arbusto herbáceo, de crecimiento rápido que alcanza hasta dos metros de altura. Sus hojas son simples, alternas y con estípula de forma de espiral, en grupos

de tres, largas pecioladas, membranáceas, margen lobada-dentada, base asimétrica y ápice agudo (Silva Filho, 1998). El fruto es una baya no climatérica con variabilidad fenotípica diferenciada por el tipo de crecimiento, color del epicarpio y mesocarpio, tamaño, peso y forma (Figura 2-4) (Hernández *et al.*, 2004; Hernández *et al.*, 2007; Cardona, 2011).

**Figura 2-4:** Planta (a) y fruto (b) de Cocona.



Por su acidez (1,60% Ac. Cítrico), pH (3-3.5), astringencia y bajo dulzor (4,5 – 6,0 °Brix), el fruto no se consume fresco y es utilizado para la preparación de jugos, refrescos, conservas, jaleas, mermeladas, helados, encurtidos, dulces, compotas, jarabes, complemento en bebidas alcohólicas, ensaladas y salsas (Vargas Muñoz, 2015; Silva Filho, 1998; Barrera *et al.*, 2011; Cardona, 2011).

El uso comestible de estos frutos genera, a veces, cantidades considerables de subproductos, para el caso de canangucha (*Mauritia flexuosa*) entre el 68,8 – 65,56% constituidos por el mesocarpio fibroso y la semilla, y para cocona (*Solanum sessiliflorum*) alrededor del 30 - 36%, representados en cáscara, semillas y restos de pulpa (Hernández *et al.*, 2004, Vargas-Muñoz, 2015), sin contabilizar las unidades descartadas por defectos físicos o biológicos. Un compuesto biológico que puede ser extraído a partir de estos desechos, es la pectina un polisacarido multifuncional, principalmente constituido por varias unidades de ácido D-galacturónico, unidos por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-4) parcialmente metilesterificados en C-6 o acetilados en O-2 y/o O-3, que puede contener cadenas laterales de otros azúcares como L-ramnosa, L-arabinosa y D-galactosa (Guo *et al.*, 2012).

Dependiendo de la fuente y las condiciones utilizadas para su obtención, la pectina varía en su rendimiento y en su composición química y propiedades fisicoquímicas que son fundamentales para determinar su funcionalidad (Tabla 2-1).

**Tabla 2-1:** Rendimiento y grado de esterificación de pectinas extraídas de diferentes fuentes.

<b>Matriz</b>	<b>% p/p Rendimiento</b>	<b>Grado de esterificación (%)</b>
Aloe	5	3
Manzana	2-19	22-80
Plátano	2-15	49-80
Cáscara de vaina de cacao	4-11	57
Zanahorias	7-19	34-58
Frutas cítricas	6-26	56-80
Pomelo	13-32	75-76
Mango	9-29	49-86
Maracuyá	4-70	10
Pulpa de remolacha azucarera	4-16	14-48
Girasol	10-11	34-39

Fuente: Munarin *et al.*, 2012.

Las pectinas son clasificadas en alto y bajo métoxilo, de acuerdo a su grado de esterificación; Las pectinas de alto metoxilo (HM), contienen más del 50% de los grupos carboxilo esterificados con metanol (comercialmente 55-75%) y son capaces de gelificar en soluciones con un pH de 2,0 – 3,8 y altas concentraciones de azúcar (55-85%), sus geles son elásticos, blandos y no reversibles térmicamente, se utilizan comúnmente para la elaboración de confituras y mermeladas, en productos de pastelería y en productos lácteos; en cambio las pectinas de bajo metoxilo (LM) tienen un % de metoxilo menor al 7% y bajo grado de esterificación entre 20-45%, gelifican en un amplio rango de sólidos solubles (10-80%) y a un pH entre 2,0 – 6,0, pero requieren una cantidad controlada de calcio u otras sales divalentes, sus geles son reversibles térmicamente y más o menos cohesionados según el contenido de calcio del producto y el valor de pH. Las pectinas LM no presentan buena resistencia mecánica y son apropiadas para utilizarse en

productos lácteos como agentes espesantes, o en confituras y mermeladas de bajo poder calórico como agente gelificante (Hosseini *et al.*, 2016; Wuestenberg, 2014; Cubero *et al.*, 2002). Estas características estructurales no solo están relacionadas con su funcionalidad para productos alimenticios, sino además para su uso medicinal; las pectinas con menor contenido de metóxilo y peso molecular ( $< 10\ 000$  KDa) son más eficientes para pacientes diabéticos y con sobrepeso, y para el tratamiento del cáncer; mientras que las de alto contenido de metoxilo son buenos agentes para reducir los niveles de colesterol (Liu *et al.*, 2010).

Industrialmente las pectinas se extraen por hidrólisis ácida con rangos de pH entre 1,5 a 3,0 utilizando ácidos minerales fuertes como el ácido clorhídrico, sulfúrico y nítrico, en una relación sólido: líquido entre 1:18 – 1:35 g:mL, a altas temperaturas (60-100 °C) y tiempo prolongados (0,5-6 h) (Canteri, 2012; Wicker *et al.*, 2014). Esta metodología implica el uso de grandes cantidades de energía, con gradiente de temperatura, costos elevados de operación y el lidiar a veces con desechos de planta que comúnmente dejan un fuerte impacto en el ambiente (Muñoz-Ordoñez, 2011; Guo *et al.*, 2012). Recientemente varios grupos de investigadores han propuesto el uso de la energía del microondas para mejorar la eficiencia del proceso, en cuanto a la cantidad de energía utilizada, y disminuir los efectos adversos que influyen considerablemente en la calidad de la pectina (Chen *et al.*, 2016; Hosseini *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2012; Maran *et al.*, 2014; Seixas *et al.*, 2014).

Las microondas son ondas electromagnéticas que oscilan en una frecuencia entre los 300 MHz y los 300 GHz y longitud de onda entre 1 m a 1 mm; pero para su uso industrial, científico y médico (ISM), se utilizan comúnmente las frecuencias de la banda de 915 MHz o 2450 MHz, que opera a una longitud de onda de 12,2 cm, 0,94 J/mol de energía y el fenómeno de alineación, aleatorización y el reajuste de los dipolos se lleva a cabo de  $4,9 \times 10^9$  veces por segundo (Adetunji *et al.*, 2017; Chemat and Cravotto, 2013; Zhang *et al.*, 2011).

En comparación con los métodos convencionales donde el gradiente térmico ocurre desde el medio de calentamiento hacia el interior del material y el calor se suministra a través de la radiación, convección y/o conducción y en la extracción asistida por

microondas (EAM), se genera dentro del medio irradiado por la interacción molecular, atómica e iónica con el campo electromagnético, utilizando los mecanismos de rotación dipolar y conducción iónica que generan un rápido calentamiento por fricción molecular o por el trabajo realizado al tratar de orientarse de forma análoga a la rotación dipolar (Wang *et al.*, 2016; Chemat and Cravotto, 2013).

Su eficiencia de calentamiento depende del factor de disipación ( $\tan \delta$ ), que es una medida de la capacidad del material para absorber la energía del microondas y disiparla en forma de calor; y de la permitividad relativa compleja ( $\epsilon$ ), que depende de la frecuencia del campo aplicado y relaciona la capacidad del material para interactuar con la energía electromagnética (Ecuaciones 2.1 y 2.2).

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2.1)$$

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.2)$$

Donde  $j = \sqrt{-1}$ ,  $\epsilon''$  es la pérdida dieléctrica que indica la eficiencia de conversión de la energía electromagnética en calor, y  $\epsilon'$  es la constante dieléctrica que representa la capacidad de un material para ser polarizado por un campo eléctrico externo (Chan *et al.*, 2011; Adetunji *et al.*, 2017).

Un horno microondas consta principalmente de un magnetrón, que es una válvula de vacío que genera oscilaciones de alta frecuencia, al ser sometidos electrones a un campo eléctrico y magnético convirtiendo la energía eléctrica en microondas, una fuente de alto voltaje como un transformador, una guía de onda para controlar la dirección de las microondas y una cavidad donde el material es expuesto a las microondas, clasificada en monomodo o multimodo (Crecente, 2009).

La extracción asistida por microondas (EAM) ha generado un interés creciente para su aplicabilidad por la reducción del tiempo del proceso, bajo requerimiento de energía, menor costo de producción, alta eficiencia de extracción y de mejor calidad, adaptable a pequeña y grande escala, permite el acoplamiento en línea de otras etapas del proceso,

y su automatización parcial o total (Hosseini *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2011). Algunos de los factores que influyen en la eficacia de la EAM de pectina, son las propiedades dieléctricas del solvente, y su interacción con la matriz y el analito, el tamaño, geometría, composición y forma de la muestra, potencia del microondas, pH del medio de extracción, tiempo de irradiación del microondas y la relación muestra-solvente (Chemat and Cravotto, 2013; Maran *et al.*, 2013; Maran *et al.*, 2014; Thirugnanasambandham and Sivakumar, 2015). En la Tabla 2-2, se resume algunas condiciones óptimas de extracción para diferentes matrices vegetales utilizando esta tecnología.

**Tabla 2-2:** Parámetros óptimos reportados de la extracción asistida por microondas (EAM) para la extracción de pectinas a partir de diferentes partes de frutos.

Fuente natural	Parámetros óptimos de extracción	Referencia
Cáscara de pomelo	pH 1,5, 520 W y 5,6 min	Chen <i>et al.</i> ( 2016)
Bagazo de lima	Agua acidificada con ácido cítrico hasta pH 1,0, 400 W, 500 seg	Thirugnanasambandham and Sivakumar (2015)
Cáscara de mango	413 W, pH 2,7, 134 seg, RSS 1:18	Maran <i>et al.</i> (2015)
Pitahaya roja ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> )	400 W, 20 min y 24 g/mL	Thirugnanasambandham <i>et al.</i> (2014)
Sandía ( <i>Citrullus lanatus</i> )	Agua destilada acidificada con HCl, pH 1,52, 477 W, 128 seg y RSS 1:20,3 g:mL	Maran <i>et al.</i> (2014)
Cáscara de naranja ombligona	Agua desionizada acidificada con HCl, pH 1,5, RSS 1:50, 21 min, 500 W	Guo <i>et al.</i> (2012)
Remolacha azucarera	Agua acidificada con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH 1,57, 3,53 min y 152,63 W	Li <i>et al.</i> (2012)
Palma de azúcar	Agua destilada acidificada con HCl, pH 2,0, 3 min, 800 W, RSS 1:30 g:mL	Rungrodnimitchai (2011)
Toronja	Agua destilada acidificada con HCl, RSS 1:50 g:mL, 6 min, 900 W	Bagherian <i>et al.</i> (2011)

Guo *et al.* (2012), Seixas *et al.* (2014), Bagherian *et al.* (2011) y otros, han reportado el uso de agua destilada para la EAM de pectina, por su alto factor de disipación (9,889), constante dieléctrica (80,4) y menor pérdida dieléctrica (12,3), indicando que puede absorber mayor cantidad de energía de lo que puede disiparla, lo que permite su calentamiento dentro de la matriz, generando la ruptura de las células, degradación del analito o aumento de la difusividad del compuesto objetivo en la matriz (Chemat and Cravotto, 2013).

El tamaño de la partícula de la matriz también es fundamental para la extracción, partículas pequeñas aumentan su eficiencia al tener una mayor área de contacto con el solvente de extracción, pero muy finas disminuiría la pureza de la pectina. Hosseini *et al.* (2016) y Maran *et al.* (2014) utilizaron el tamiz No. 40 para cernir la muestra antes de la EAM.

Para el estudio de estos factores, es recomendable utilizar diseños experimentales multivariados que permitan determinar los valores óptimos de extracción, interactuando las variables con un número reducido de experimentos; como el modelo factorial fraccionado ideado por el matemático Japonés G. Taguchi, que implica el uso de matrices ortogonales para organizar los parámetros que afectan el proceso y los niveles en los que se deben variar, a fin de asegurar productos robustos de alta calidad y bajo costo (Herrera, 2013).

El objetivo de este estudio fue estandarizar el método de extracción asistida por microondas de pectina de frutos amazónicos, evaluando la potencia, pH, relación sólido: solvente, y tiempo de irradiación, en el rendimiento y calidad de pectina obtenida a partir del mesocarpio de canangucha y la cascara de cocona; y comparar los rendimientos con los obtenidos por el método convencional de extracción. Además se les realizó el análisis proximal a las dos matrices utilizadas para la extracción.

## 2.2 Materiales y métodos

### 2.2.1 Obtención y acondicionamiento de la materia prima

Se trabajaron frutos maduros de canangucha y cocona recolectados en el municipio La Montañita ubicada en el departamento del Caquetá y en Leticia del Departamento del Amazonas, respectivamente.

#### ➤ **Mesocarpio fibroso de canangucha**

Los frutos maduros se lavaron por inmersión y agitación, y se desinfectaron usando una solución de hipoclorito de sodio (200ppm) durante 10 min. Posteriormente se colocaron en recipientes con agua tibia (40-50 °C) durante 4-6 h aproximadamente, para facilitar la separación manual posterior de los diferentes componentes del fruto (cáscara y mesocarpio oleoso, mesocarpio fibroso y semilla). El mesocarpio fue escaldado a 85 °C durante 15 min, para inactivar las enzimas pectinolíticas y disminuir el contenido graso que hubiera quedado en el anterior proceso.

Luego se secaron en un deshidratador de convección eléctrico de 110V marca COMEK a 50 °C durante 24 h y se molieron en un molino de martillo. Posteriormente se hizo pasar a través de un tamiz No. 40 (425 µm) y se almacenaron en bolsas plásticas de polietileno de baja densidad (LDPE) selladas herméticamente, hasta el proceso de extracción (Figura 2-5).

#### ➤ **Cáscara de cocona**

Se realizaron todas las etapas del proceso de despulpado recomendado por Hernández y Barrera (2004), especificadas en la Figura 2-6. Se lavó por inmersión y agitación; posteriormente fue escaldado con agitación manual continua, en una marmita de acero inoxidable con chaqueta de vapor a 85°C durante 15min y se le realizó choque térmico con agua de la llave a temperatura ambiente.

Los residuos del despulpado fueron suspendidos en agua para separar las semillas de la cáscara, Luego la cáscara fue secada, molida, tamizada y almacenada de la misma manera que la matriz de canangucha.

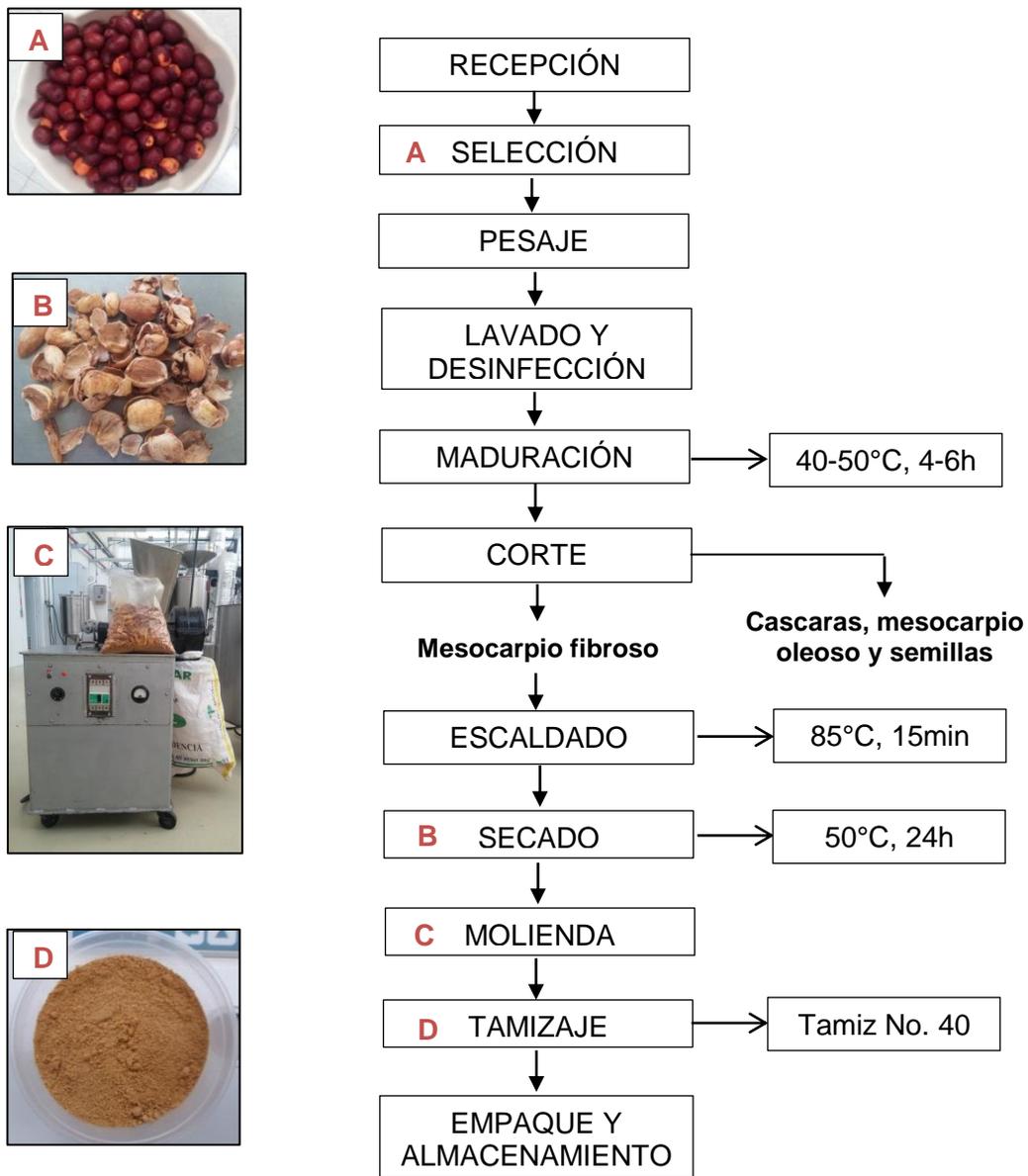
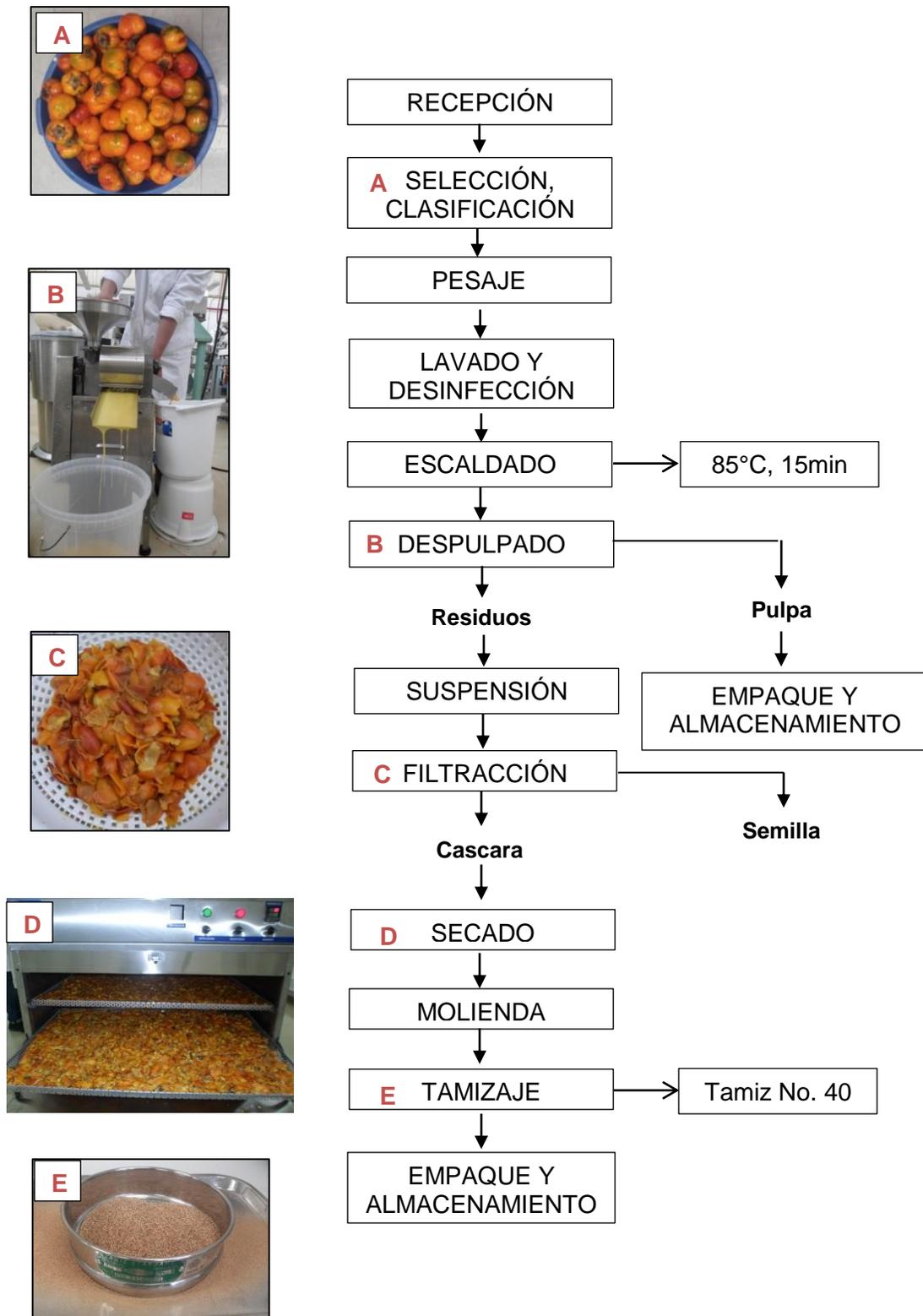
**Figura 2-5:** Diagrama de flujo para la obtención manual de la muestra de canangucha.

Figura 2-6: Diagrama de flujo para la obtención de la cáscara de cocona.



### 2.2.2 Análisis proximal de las partes no comestibles de la canangucha y la cocona

Se realizó por triplicado con los métodos oficiales de la Association of Analytical Chemists descritos por la AOAC (1997), el análisis proximal del mesocarpio fibroso de la canangucha y la cáscara de cocona (Tabla 2-3).

**Tabla 2-3:** Metodos empleados para el análisis proximal.

Análisis	Método
Extracto seco	AOAC 930.15/90
Cenizas	AOAC 940.26/90
Grasa cruda	AOAC 920.39/90
Proteína	AOAC 960.52
Carbohidratos	Por Diferencia

### 2.2.3 Extracción asistida por microondas de pectina (EAM)

La extracción asistida por microondas se realizó en un horno microondas doméstico marca Whirlpool modelo WM1111D00 con potencia máxima de 1100 W (Figura 2-7), modificado con un sistema de agitación al interior del reactor de 2000 mL empleando un motor de 163RPM con salida de 24 V y un sistema de reflujo para mantener la relación sólido: solvente (diseñado por el Instituto SINCHI y la Universidad Central de Venezuela).

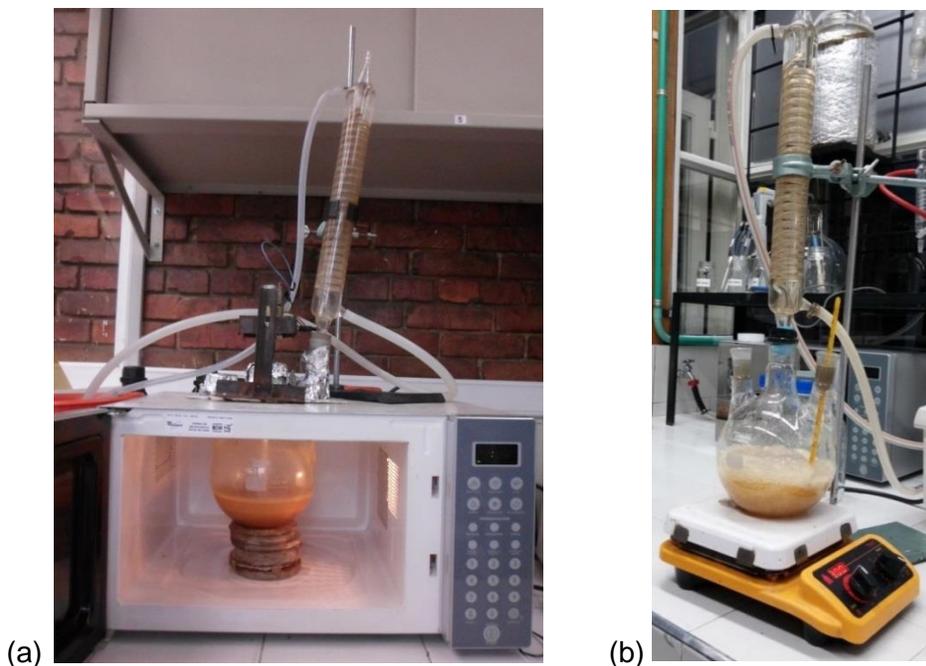
Se evaluaron el efecto de los siguientes factores pH, potencia, relación sólido (muestra seca): solvente y tiempo de exposición en el rendimiento y la calidad de la pectina, Se utilizaron 500mL de agua de la llave acidificada con HCl 1N, verificando su pH con un pH-metro de mesa serie pH700 marca Oakton Instruments, mezclada con muestras secas de tamaño de 40 mesh. Se sometió la mezcla a diferentes potencias y tiempos de irradiación a las ondas electromagnéticas del microondas. Luego la solución fue filtrada utilizando tela 100% poliéster y el líquido filtrado se almacenó a 4°C hasta la posterior precipitación de la pectina con alcohol etílico industrial 96% v/v, en una relación muestra: alcohol 1:2 v:v.

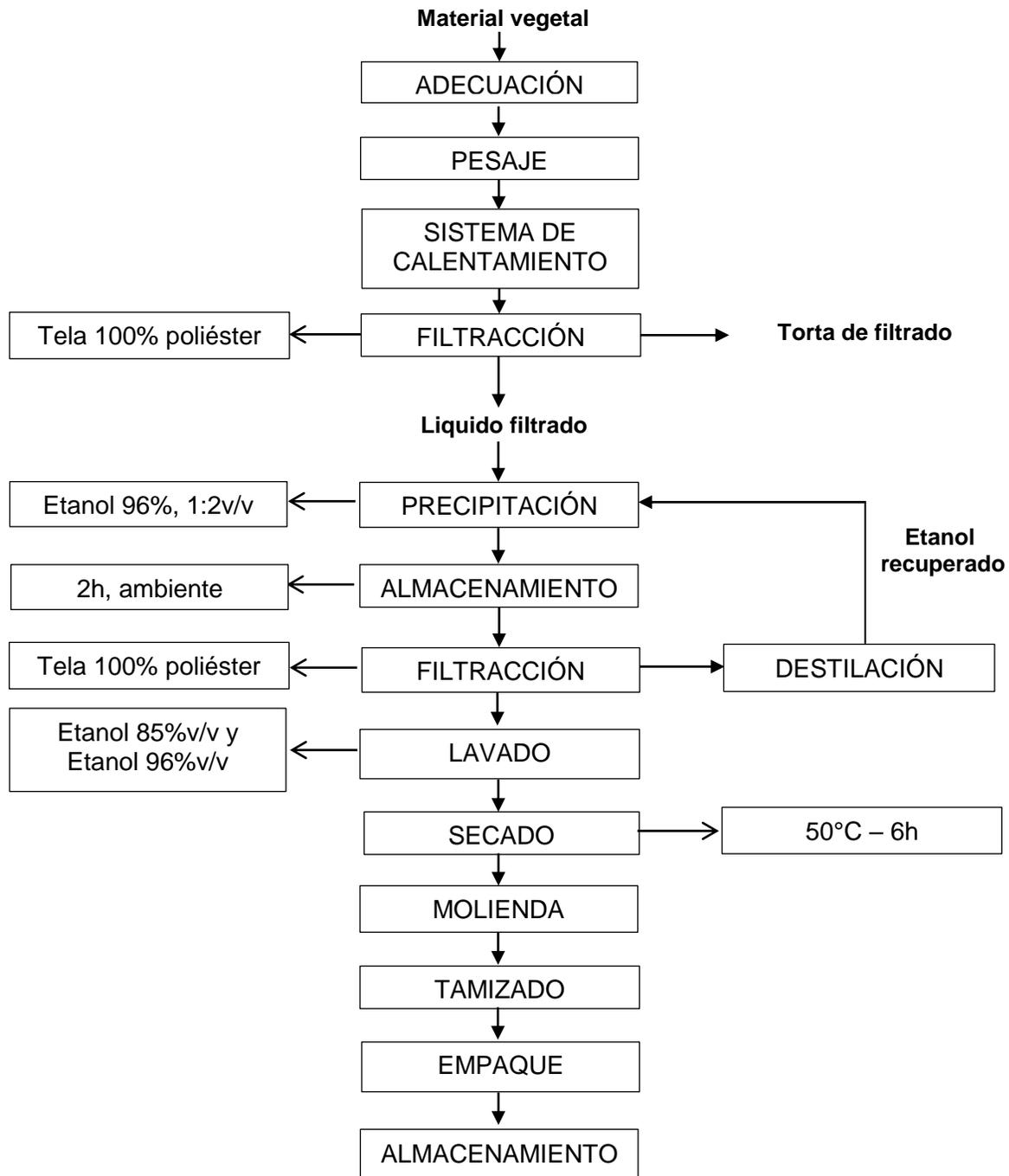
Se dejó en reposo mínimo durante 2 h a temperatura ambiente para permitir la flotación de la pectina y después se recuperó la pectina por filtración utilizando la tela 100% poliéster. La pectina obtenida fue purificada realizándole tres lavados con etanol acuoso al 85% v/v y luego con etanol al 96% v/v hasta fin de cloruros (prueba con nitrato de plata). Solamente a la pectina obtenida del mesocarpio fibroso de la canangucha, por su contenido graso se le realizó una limpieza adicional con acetona para mejorar su pureza, color y facilitar su secado posterior. Luego la pectina fue secada a 50°C durante 6 h, molida y almacenada a temperatura ambiente en bolsas plásticas de polietileno lineal de baja densidad (LDPE), hasta su posterior caracterización (Figura 2-8).

### 2.2.4 Extracción de pectina por el método convencional

Se realizó el mismo procedimiento especificado en la extracción asistida por microondas (Figura 2-8), con los valores óptimos obtenidos en el estudio preliminar de pH y relación muestra: solución extractante, a 92,5°C durante 60 min, pero utilizando un sistema de calentamiento cerrado con plancha de calentamiento, agitadores magnéticos y condensador para evitar la pérdida de la solución extractante (Figura 2-7).

**Figura 2-7** Sistemas utilizados para la extracción de pectina por microondas (a) y por el método de calentamiento convencional (b).



**Figura 2-8:** Diagrama de flujo para la extracción de pectina.

### 2.2.5 Diseño experimental

- **Estudio preliminar:** En el diseño completamente al azar, se realizaron 4 ensayos independientes para cada uno de los factores en estudio, en cada ensayo el número de tratamientos o niveles fue de 6 y el número de replicas de 3. En la tabla 2-4, se expresan los niveles de los 4 factores evaluados, para conocer su efecto individual sobre el rendimiento de la pectina.

**Tabla 2-4:** Factores y niveles evaluados en el estudio preliminar.

NIVELES	FACTORES			
	Potencia (W)	pH	Relación Sólido (g): Solvente (mL)	Tiempo (min)
n1	220	1,0	1:10	3
n2	330	1,5	1:15	6
n3	440*	2,0	1:20	9
n4	550	2,5	1:30	12
n5	660	3,0	1:40	16
n6	880	3,5	1:50	20

\*valores constantes

**Diseño ortogonal de Taguchi:** Con el rango de los niveles de cada factor con el mayor rendimiento de pectina establecidos en el estudio preliminar, se realizó un diseño experimental por el método Taguchi de matrices ortogonales  $L_{16}(4)^4$  (Tabla 2-5), para establecer la interacción óptima de las cuatro factores en la EAM de pectina de las dos matrices (Herrera, 2013), utilizando como variables de respuesta su rendimiento y calidad, cuantificada por el peso equivalente, acidez libre, % de metoxilo y el grado de esterificación. El número de replicas fue de 3.

**Tabla 2-5:** Tabla arreglo ortogonal de Taguchi L16(4)<sup>4</sup>, donde F son los factores.

Experimento	F1	F2	F3	F4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	2	1	2	4
6	2	2	1	3
7	2	3	4	2
8	2	4	3	1
9	3	1	3	2
10	3	2	4	1
11	3	3	1	4
12	3	4	2	3
13	4	1	4	3
14	4	2	3	4
15	4	3	2	1
16	4	4	1	2

- **Método de optimización del proceso:** Se utilizó la metodología de superficie de respuesta para entender el comportamiento del modelo multifactorial de Taguchi y optimizar el proceso de extracción (Thirugnanasambandham and Sivakumar, 2015).

## 2.2.6 Caracterización y control de calidad de las pectinas extraídas

Las pectinas obtenidas fueron caracterizadas y valoradas utilizando las metodologías que se describen a continuación.

- **Rendimiento:** Se calculó en base seca con el peso de la pectina obtenida y la cantidad de muestra agregada al sistema de extracción (Ecuación 2.3).

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{gramos de pectina seca}}{\text{gramos de muestra seca}} \times 100 \quad (2.3)$$

- **Peso equivalente y acidez libre:** Se empleó el método descrito por Liew *et al.*, 2014 y Guo *et al.* (2012), valorando 200 mg de pectina seca con NaOH 0,1 N. El peso equivalente y la acidez libre, se calculó con el hidróxido de sodio gastado en la titulación (Ecuaciones 2.4 y 2.5).

$$\text{Peso equivalente} = \frac{\text{mg de pectina seca}}{\text{meq. de hidróxido de sodio}} \quad (2.4)$$

$$\text{Acidez libre} = \frac{\text{meq de carboxilos libres}}{\text{g. pectina seca}} \quad (2.5)$$

- **Contenido de metoxilo:** A la solución empleada para la determinación del peso equivalente se le agregó 10mL de NaOH 0,1N, se dejó en reposo durante 2 h a temperatura ambiente para desesterificar la pectina y luego se le adiciono 10 mL de HCl 0,1N. Se valoró nuevamente con NaOH 0,1N y se calculó el porcentaje de metoxilo (Ecuación 2.6) (Guo *et al.*, 2012 y Liew *et al.*, 2014).

$$\text{Contenido de metoxilo (\%)} = \frac{\text{volumen NaOH (mL)} \times 0,1\text{N} \times 31}{\text{peso de la muestra (mg)}} \times 100 \quad (2.6)$$

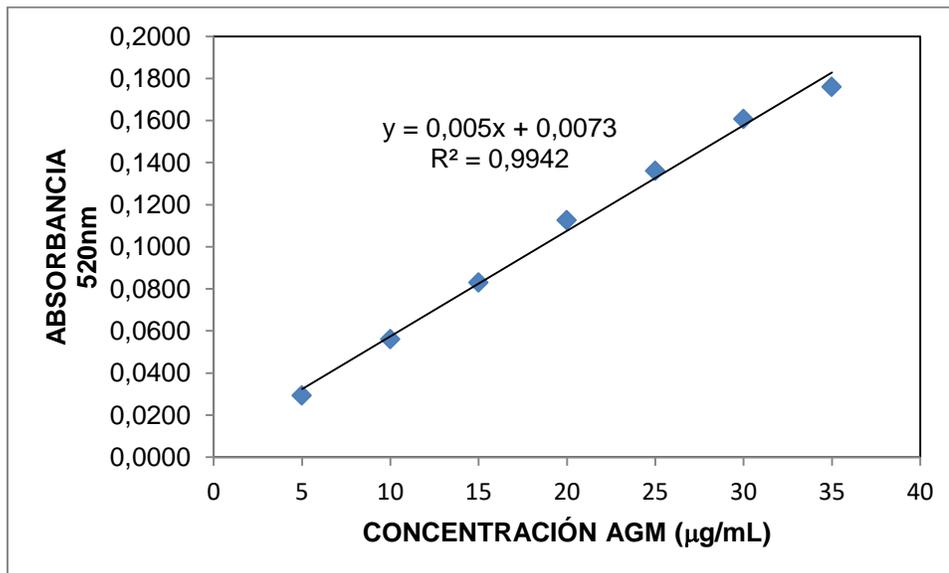
- **Grado de esterificación (GE):** Se expresó como el porcentaje de esterificación por metilos de los grupos carboxilo de los ácidos pectínicos, y se basó en las determinaciones de acidez libre y unidades metiladas (Ecuación 2.7) (Liew *et al.*, 2014 y Guo *et al.*, 2012).

$$GE = \frac{\text{Carboxilos metoxilados (meq/g)}}{\text{carboxilos totales (meq./g)}} \times 100 \quad (2.7)$$

Dónde: Carboxilos totales = carboxilos libres + carboxilos metoxilados.

- **Contenido de ácido anhidrourónico (AUA):** Se determinó con la técnica de descrita por Ferreira (2007) con algunas modificaciones. El método se basa en la medida de absorbancia a 520 nm de una solución de color rosado, que se forma en presencia de ácido sulfúrico, carbazol y galacturónico desesterificado. Se elaboró una curva de patrón empleando ácido D (+) galacturónico monohidrato (10-70 µg/mL) (Figura 2-9) y para el cálculo se tuvo en cuenta que el peso molecular (PM) del AUA equivale al 83% del PM del ácido galacturónico monohidrato (AGM).

**Figura 2-9** Curva de calibración para determinar ácido D-galacturónico monohidrato.



Se le agregaron 125 mL de la solución del reactivo de EDTA tetrasódico a 0,5 mg de pectina en polvo, luego se homogenizo utilizando un agitador magnético, se ajustó el pH

a 11.5 con NaOH 0,1 N y se calentó a baño de maría a 25°C durante 30 min para la desesterificación.

Posteriormente se acidificó la mezcla con ácido acético glacial hasta pH 5,0 – 5,5 y se llevó a volumen en un balón aforado de 250 mL con agua destilada, luego se filtró con papel filtro cualitativo whatman No. 1, descartando los primeros 10ml del filtrado y se tomó 0,5 mL del filtrado claro para llevarlo a volumen de 25 mL en un balón aforado con agua destilada.

Para la determinación colorimétrica, se tomó 1 mL de la última dilución del desesterificado en un tubo de ensayo, y se adicionó lenta y exactamente 6 mL de ácido sulfúrico concentrado luego de haber enfriado previamente la muestra a 3 °C y se agito utilizando un agitador tipo vórtex. Luego se calentó en un baño de agua en ebullición por 10 min, se enfrió hasta 20 °C y se le adiciono 0,5 mL del reactivo de carbazol (0,15 %p/v en etanol al  $\geq 99,5$  %), se agito nuevamente y se dejó en reposo a temperatura ambiente por  $25 \pm 5$  min. El blanco fue preparado en las mismas condiciones utilizando 1mL de agua destilada en lugar de la muestra problema y se realizaron nueve lecturas espectrofotométricas con diluciones independientes para cada muestra.

### **2.2.7 Análisis estadístico**

A los datos obtenidos en el análisis preliminar se les realizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) y una prueba de comparación múltiple de Tukey (95%), y a los obtenidos en el diseño experimental de Taguchi se les realizó un anova multifactorial y un análisis de regresión no lineal con el método Gauss-Newton, así como gráficas de superficie de respuesta, para observar el comportamiento del modelo y optimizar el proceso de extracción utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI.

A los resultados obtenidos en el análisis proximal se les realizó un análisis estadístico descriptivo con medidas de tendencia central y de dispersión y un análisis de varianza ANOVA de un factor y una prueba de comparación múltiple de Tukey (95%) con el mismo paquete estadístico.

## 2.3 Resultados y discusión

### 2.3.1 Rendimientos obtenidos en el procesamiento manual de canangucha y el despulpado de cocona

En la tabla 2-6, se observan los rendimientos obtenidos en el procesamiento de los frutos amazónicos estudiados. La cáscara y el mesocarpio oleoso de canangucha representaron el 40,37%, las semillas el 49,07% y el mesocarpio fibroso el 10,56%, estos resultados son diferentes a los reportados en el mismo fruto por Guerra *et al.* (2011), que encontró que la cáscara y mesocarpio oleoso representa 33,7%, mesocarpio fibroso 15,2% y la semilla 51,1%; y a los reportados por Hernández *et al.*, 2004, de 45,20% y 37,48%, en la parte comestible de dos ecotipos estudiados en el Piedemonte Caqueteño. Pero hay que tener en cuenta como lo describe estos autores, esta especie tiene una alta variabilidad en forma y tamaño de sus frutos hasta en un mismo cananguchal.

En el procesamiento de cocona se obtuvo un rendimiento de pulpa del 61,93%, y de residuos 38,07%, representados en cáscara y semillas (Tabla 2-6). Relativamente similar al reportado por Vargas-Muñoz (2015) para el morfotipo II, donde obtuvo el 64% de pulpa, 26,3% de cascara y 9,7% de semillas; pero diferente al reportado por Muñoz-Ordoñez (2011) también para el morfotipo II, el cual obtuvo el 70% de pulpa y el 30% de cáscara y semillas.

**Tabla 2-6:** Rendimientos obtenidos en el procesamiento de canangucha y cocona.

Fracción del fruto	Canangucha	Cocona
Parte comestible (%)	40,37	61,93
Residuos (%)	59,63	38,07
- Semillas (%)	49,07	10,10
- Parte del fruto estudiada (%)	10,56	27,97

### **2.3.2 Análisis proximal de algunos subproductos de canangucha y cocona**

Los resultados obtenidos en el análisis proximal se observan en la tabla 2-7. El mesocarpio fibroso de canangucha tiene un contenido apreciable de materia seca (34,46% b.s.), grasa cruda (6,48% b.s.) y un alto contenido de carbohidratos (87,13% b.s.), además de una pequeña cantidad de proteína (4,10% b.s) y cenizas (2,29% b.s.). Estos valores coinciden con los obtenidos por Guerra *et al.*, (2011), en cuanto a carbohidratos de 88,3% b.s.y proteína 4,6% b.s., aunque difieren en el contenido de cenizas 3,9% b.s. y grasa cruda 1,8% b.s, reportados. Esta diferencia como lo expresa Quispe-Jacobo *et al.* (2009), podría deberse a las variaciones que presentan los frutos oleaginosos debido a la estacional en la cosecha y por las condiciones en que ésta crece.

En la cáscara de cocona, los componentes mayoritarios fueron los carbohidratos (88,33% b.s.), seguido por la materia seca (15,66% b.s.) y el contenido de proteína (7,21% b.s), y los menores valores encontrados estuvieron en ceniza (3,66% b.s) y grasa cruda (0,81% b.s). Se aprecia una diferencia notable con los resultados hallados por Vargas-Muñoz (2015), en la cáscara de cocona proveniente de un cultivo en Puerto Caicedo del departamento de Putumayo, donde obtuvo 85,85%b.s. de carbohidratos, 13,41%b.s de materia seca, 8,38%b.s. de proteína, 4,80%b.s. de cenizas y 0,97%b.s. de extracto etéreo, pero esta composición viene muy ligada a las condiciones del suelo donde es originaria, como lo expresa este mismo autor.

Comparando los resultados de las dos matrices evaluadas se encontraron diferencias significativas en su composición ( $p < 0,05$ ), la cáscara de cocona y la canangucha tienen un alto contenido de carbohidratos, cocona tiene mayor contenido de proteína y cenizas y canangucha mayor porcentaje de grasa cruda y de materia seca (Tabla 2-6). No es muy adecuado hacer similitudes en la composición de dos especies que no pertenecen al mismo Género y Familia, pero se realizó teniendo en cuenta que van a ser utilizadas para extraer un compuesto, con metodologías donde influyen sus propiedades dieléctricas y térmicas que dependen de su composición.

**Tabla 2-7:** Macronutrientes de algunos subproductos de canangucha (*Mauritia flexuosa*) y cocona (*Solanum sessiliflorum*).

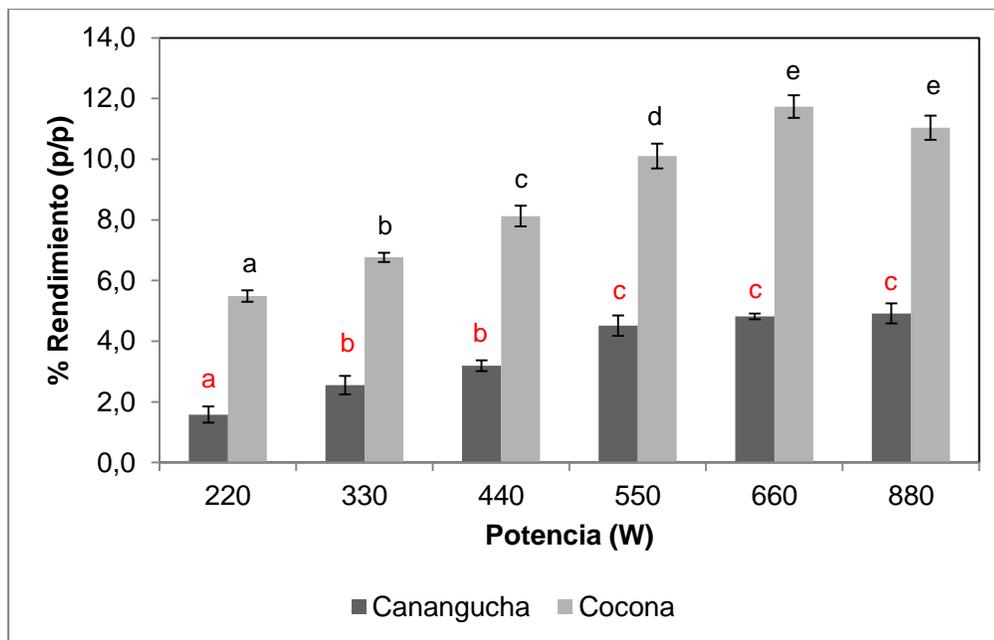
Componente	Mesocarpio fibroso de canangucha g*100 <sup>-1</sup> materia seca	Cáscara de cocona g*100 <sup>-1</sup> materia seca
Materia seca	34,46 ± 0,36 <sup>*g</sup>	15,66 ± 0,49 <sup>f</sup>
Cenizas totales	2,29 ± 0,04 <sup>b</sup>	3,66 ± 0,07 <sup>d</sup>
Grasa cruda	6,48 ± 0,63 <sup>e</sup>	0,81 ± 0,02 <sup>a</sup>
Proteína cruda	4,10 ± 0,17 <sup>d</sup>	7,21 ± 0,13 <sup>e</sup>
Carbohidratos	87,13 <sup>h</sup>	88,33 <sup>i</sup>

\* $\bar{X} \pm D.E.$  valores con letras diferentes son significativamente diferentes al nivel  $p < 0,05$  Tukey HSD.

### 2.3.3 Efecto individual de los factores evaluados en la extracción asistida por microondas de pectina

- **Potencia:** La potencia del microondas fue un factor importante que influyó en la eficacia de la extracción, como se observa en la Figura 2-10, a mayor potencia mayor rendimiento de extracción. Al transferir rápidamente la energía electromagnética, se aumenta la penetración del disolvente de extracción en la matriz, produciendo una mayor lixiviación de pectina, además acelera la ruptura celular por el aumento repentino de temperatura y de la presión interna (Maran y Prakash, 2015; Maran *et al.*, 2014; Bagherian *et al.*, 2011).

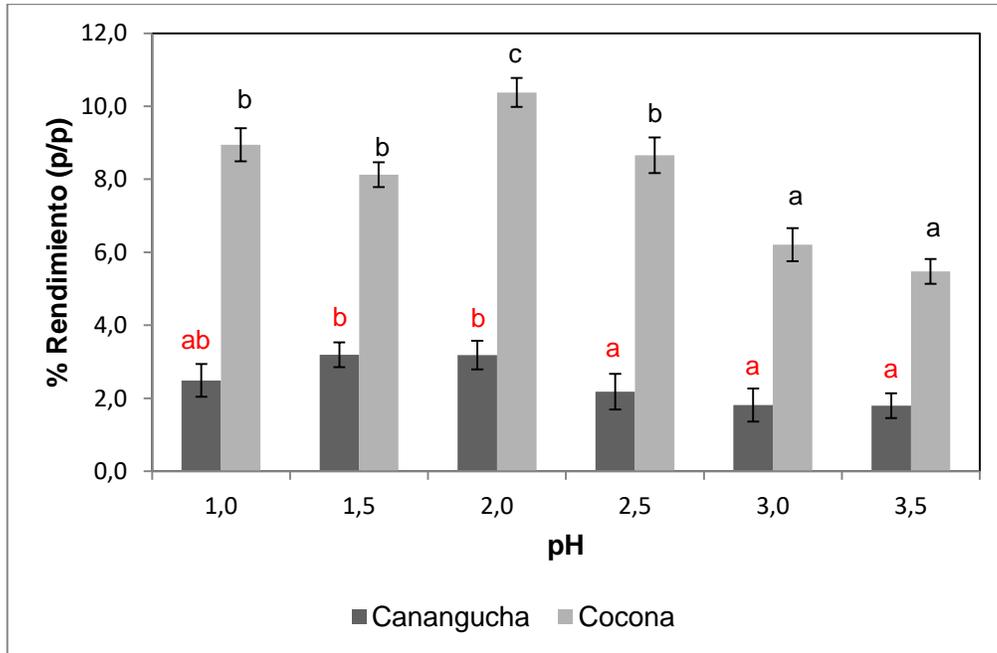
**Figura 2-10:** Efecto de la potencia utilizando la extracción asistida por microondas durante 12 min, pH 1,5 y relación sólido (g): solvente (mL) 1:20, en el rendimiento de pectina obtenida del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona.



\*Los valores corresponden al promedio. Valores con letras diferentes son significativamente diferentes al nivel  $p < 0.05$  Tukey HSD.

- **pH de la solución extractante:** Como se observa en la Figura 2-11, el rendimiento de pectina aumentó a valores de pH entre 1,5-2,0 en canangucha y en cocona entre pH 1,0-2,5 y disminuyó a pH's menos ácidos. Esto sucede de acuerdo a Maran y Prakash (2015) y Hosseini *et al.* (2016) por la disminución del peso molecular y la hidrólisis de las sustancias pécticas insolubles que ocurre a pH's demasiado ácidos, facilitando su solubilidad; y al trabajar en pH's menos ácidos se retarda la liberación de pectina disminuyendo su producción. Varios investigadores reportan que el pH óptimo para la extracción de pectina en otras matrices se encontraba entre pH 1,0-2,0 (Thirugnanasambandham y Sivakumar, 2015; Maran *et al.*, 2013; Maran *et al.*, 2014; Rungrodnimitchai, 2011 y Li *et al.*, 2012).

**Figura 2-11:** Efecto del pH utilizando la extracción asistida por microondas durante 12 min a 440W y relación sólido (g): solvente (mL) 1:20, en el rendimiento de pectina obtenida del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona.



\*Los valores corresponden al promedio. Valores con letras diferentes son significativamente diferentes al nivel  $p < 0.05$  Tukey HSD.

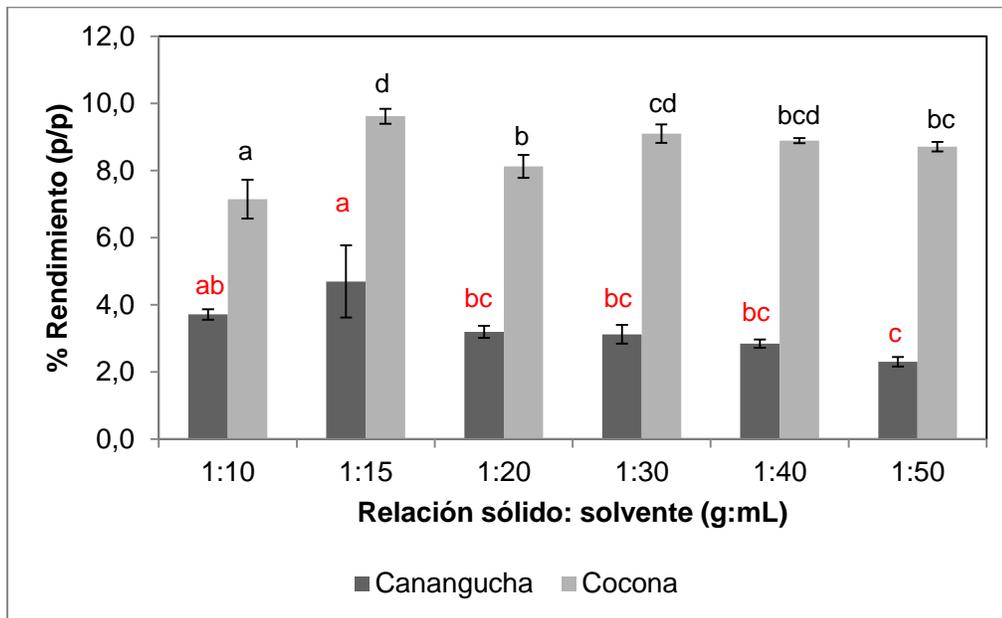
- **Relación sólido-solvente:** Como se observa en la figura 2-12, el rendimiento de la extracción de pectina de las dos matrices aumento significativamente al aumentar la RSS de 1:10 a 1:15 g:mL. Esto sucede por la polaridad del agua que interacciona con el campo eléctrico de las microondas, aumentando la temperatura del medio que permite una mejor interacción del solvente con la matriz, además que se aumenta el área de superficie de contacto de la matriz por la presión ejercida del solvente (Maran *et al.*, 2014); y al trabajar una menor RSS, el disolvente de extracción se encontraría en estado de saturación, dificultando la rotación molecular que representa una menor capacidad de absorber la energía del microondas y la solubilidad del analito objetivo (Chemat y Cravotto, 2013).

Sin embargo, disminuyó el rendimiento de la extracción de pectina al aumentar la RSS de 1:20 a 1:50 g:mL (figura 2-12), porque el solvente absorbe la mayor cantidad

de energía lo que lleva a una disminución en la interacción del solvente con la matriz, que significa menor difusividad de pectina y no rompimiento celular, además que representa mayor cantidad de aguas residuales, mayor energía y tiempo para condensar la solución (Maran *et al.*, 2014).

Teniendo en cuenta la cantidad de pectina obtenida, fueron seleccionados los niveles de la RSS a utilizar en la optimización del proceso de extracción entre 1:10 – 1:30, exceptuando en la cáscara de cocona, que se descartó la RSS 1:10, por su dificultad de obtención (Tabla 2-8).

**Figura 2-12:** Efecto de la relación sólido (g): solvente (mL) utilizando la extracción asistida por microondas durante 12 min a 440W y pH 1,5, en el rendimiento de pectina obtenida del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona.



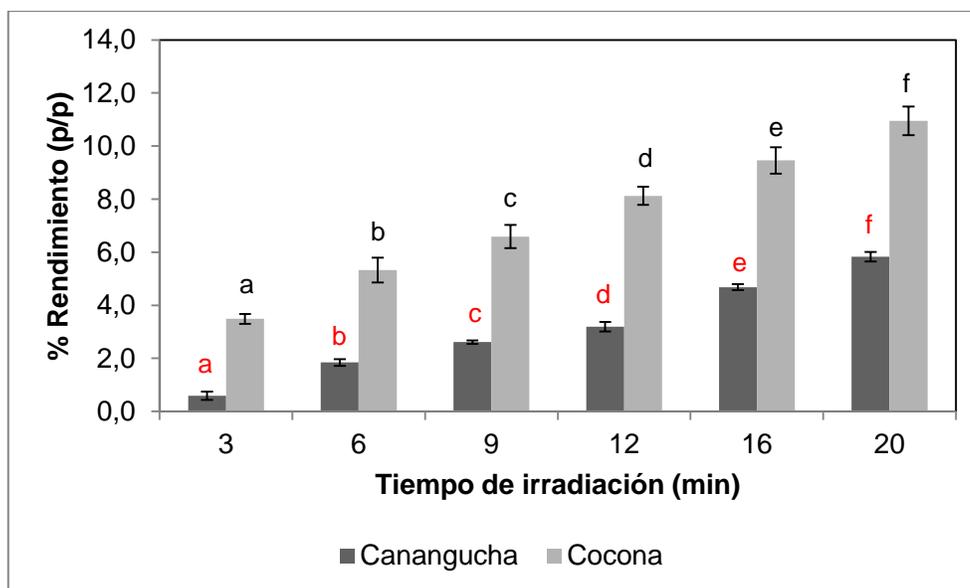
\*Los valores corresponden al promedio. Valores con letras diferentes son significativamente diferentes al nivel  $p < 0.05$  Tukey HSD.

- **Tiempo de irradiación:** Es un factor importante que influye en el rendimiento obtenido como se puede observar en la Figura 2-13, donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de las dos matrices ( $p < 0.05$ ). A mayor tiempo de irradiación hay una mayor liberación de pectina, pero también se debe

considerar que un tiempo prolongado conduce a la degradación de las moléculas de la cadena pectica cambiando sus características fisicoquímicas y funcionales, y disminuye su producción como lo expresa Maran y Prakash (2015), además a mayor potencia menor tiempo requerido para el proceso de extracción.

En el caso de la cocona, después de los 16min de extracción el color de la pectina se tornó más oscuro; un defecto físico que se trata de evitar porque reduce su aplicabilidad.

**Figura 2-13:** Efecto del tiempo de irradiación utilizando extracción asistida por microondas a 440W, pH 1,5 y relación sólido (g): solvente (mL) 1:20, en el rendimiento de pectina obtenida del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona.



\*Los valores corresponden al promedio. Valores con letras diferentes son significativamente diferentes al nivel  $p < 0.05$  Tukey HSD.

### 2.3.4 Optimización de las condiciones de extracción de pectina mediante un proceso asistido por microondas

Los niveles de estudio de los cuatro factores (F1: potencia; F2: pH; F3: relación muestra: solvente y F4: tiempo), seleccionados para investigar y optimizar las condiciones de

extracción de pectina por microondas, utilizando el mesocarpio fibroso de canangucha y la cáscara de cocona, de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio preliminar se pueden observar en la Tabla 2-8.

**Tabla 2-8:** Niveles de los factores para el diseño ortogonal de Taguchi  $L_{16} (4)^4$ , en las dos especies.

<b>FACTORES</b>			
<b>Potencia (W)</b>	<b>pH</b>	<b>RSS (g:mL)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>Canangucha</b>			
440	1.0	1:10	12
550	1.5	1:15	15
660	2.0	1:20	18
880	2.5	1:25	21
<b>Cocona</b>			
440	1.0	1:15	6
550	1.5	1:20	9
660	2.0	1:25	12
880	2.5	1:30	15

La influencia de los factores evaluados en el rendimiento de la pectina se encuentra en la Tabla 2-9, obteniendo un rango de 2,79 a 6,14% en el mesocarpio fibroso de la canangucha y de 7,29 a 12,92% en la cáscara de cocona.

**Tabla 2-9:** Rendimiento obtenido a partir del mesocarpio fibroso de canangucha y cascara de cocona, utilizando el diseño ortogonal de Taguchi L<sub>16</sub> (4)<sup>4</sup>.

No.	FACTORES				% Rendimiento Canangucha		% Rendimiento Cocona	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Experimental	Predicho	Experimental	Predicho
1	n1	n1	n1	n1	3,23 ± 0,16	3,19	8,39 ± 0,167	8,181
2	n1	n2	n2	n2	3,89 ± 0,12	4,32	9,48 ± 0,140	10,01
3	n1	n3	n3	n3	4,89 ± 0,16	4,53	11,04 ± 0,27	10,77
4	n1	n4	n4	n4	3,78 ± 0,08	3,84	10,39 ± 0,04	10,47
5	n2	n1	n2	n4	5,60 ± 0,13	5,41	12,65 ± 0,15	12,68
6	n2	n2	n1	n3	4,93 ± 0,17	5,19	11,35 ± 0,08	11,57
7	n2	n3	n4	n2	5,17 ± 0,20	4,76	10,36 ± 0,26	9,77
8	n2	n4	n3	n1	2,79 ± 0,08	2,89	7,29 ± 0,05	7,29
9	n3	n1	n3	n2	5,26 ± 0,08	5,04	10,88 ± 0,09	10,77
10	n3	n2	n4	n1	4,60 ± 0,09	5,05	9,03 ± 0,36	9,29
11	n3	n3	n1	n4	5,94 ± 0,21	5,61	12,28 ± 0,35	11,82
12	n3	n4	n2	n3	3,84 ± 0,11	4,12	9,59 ± 0,34	10,13
13	n4	n1	n4	n3	5,90 ± 0,04	5,82	12,92 ± 0,33	12,79
14	n4	n2	n3	n4	6,14 ± 0,11	6,56	12,86 ± 0,15	13,08
15	n4	n3	n2	n1	5,03 ± 0,25	4,56	10,50 ± 0,14	10,57
16	n4	n4	n1	n2	3,55 ± 0,25	3,64	10,86 ± 0,07	10,65

\*X<sub>1</sub>: potencia; X<sub>2</sub>: pH; X<sub>3</sub>: Relación sólido:solvente y X<sub>4</sub>: tiempo

En la tabla 2-10 se expresan los modelos de regresión de segundo grado para el rendimiento de pectina en las dos especies amazónicas. El análisis de varianza para el modelo señalado indicó diferencias altamente significativas y los R<sup>2</sup> ajustados fueron de 87,33% y 93,59%, para canangucha y cocona, respectivamente. Indicando el buen ajuste del modelo para predecir el rendimiento.

**Tabla 2-10:** Modelos polinomiales y análisis de varianza multifactorial para el rendimiento de la pectina obtenida a partir del mesocarpio fibroso de canangucha (a) y cáscara de cocona (b), utilizando el diseño ortogonal de Taguchi L<sub>16</sub> (4)<sup>4</sup>.

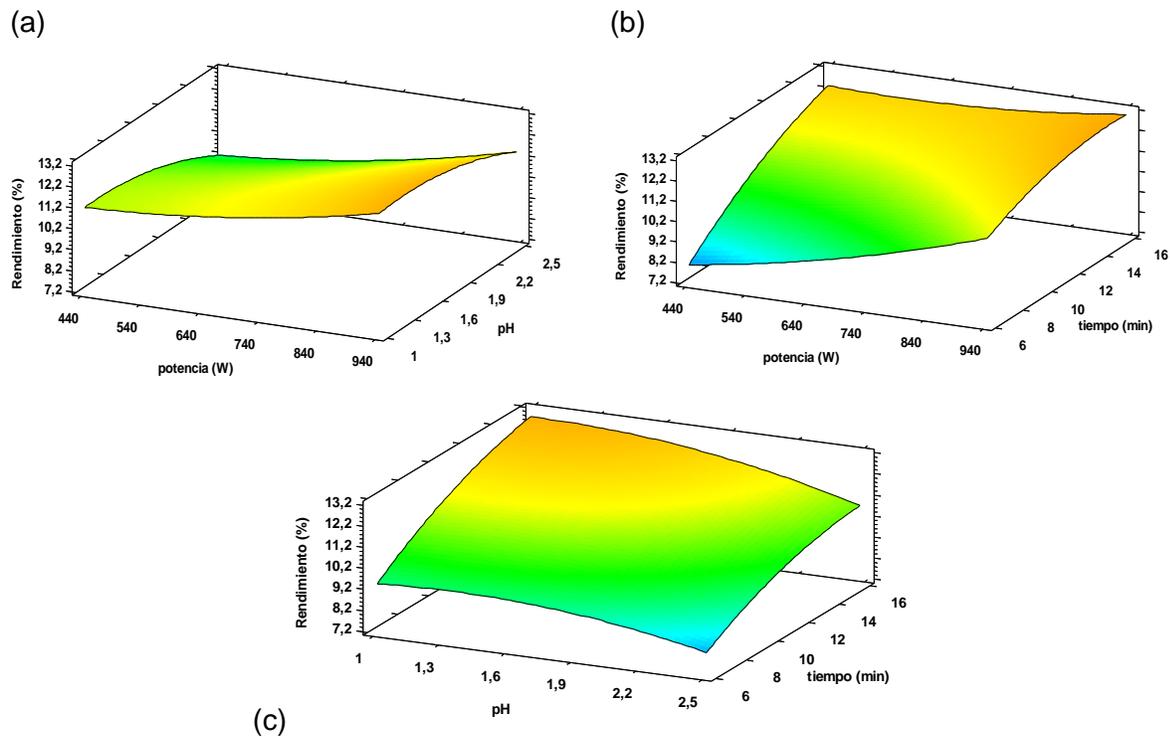
<b>(a) Canangucha</b>			
% Rendimiento de pectina = $-7,4480 + 0,0135 X_1 + 4,9749 X_2 + 0,0602 X_3 + 0,2303 X_4 - 0,00001 X_1^2 - 1,6583 X_2^2 - 0,0008 X_3^2 - 0,0021 X_4^2$			
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>
Modelo	1085,4	9	120,6
Residuo	5,1001	39	0,130772
Total	1090,5	48	
Total (Corr.)	48,5095	47	
R <sup>2</sup> = 89,4864% R <sup>2</sup> (ajustado por g.l.) = 87,3298% Error estándar del estimado = 0,361624 Error medio absoluto = 0,276116 Estadístico Durbin-Watson = 1,3044 Autocorrelación residual de retardo 1 = 0,338088			
<b>(b) Cascara de cocona</b>			
% Rendimiento de pectina de cocona = $-0,3100 + 0,0014 X_1 + 2,58662 X_2 + 1,25647 X_4 + 0,000005 X_1^2 - 0,981667 X_2^2 - 0,02127 X_4^2 + 0,00061 X_1 X_2 - 0,00054 X_1 X_4 - 0,06315 X_2 X_4$			
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>
Modelo	5521,9	10	552,19
Residuo	6,16183	38	0,162153
Total	5528,06	48	
Total (Corr.)	118,87	47	
R <sup>2</sup> = 94,8163% R <sup>2</sup> (ajustado por g.l.) = 93,5886% Error estándar del estimado = 0,402683 Error medio absoluto = 0,263545 Estadístico Durbin-Watson = 1,36139 Autocorrelación residual de retardo 1 = 0,306044			

\* X<sub>1</sub>:potencia, X<sub>2</sub>:pH, X<sub>3</sub>: Relación Sólido: solvente y X<sub>4</sub> el tiempo de extracción.

En la Figura 2-14 se observa el efecto significativo de la potencia, pH y tiempo en el rendimiento de la extracción de pectina de la cáscara de cocona, el cual no es afectado por el factor RSS al tener un p=0,45 (anexo C). Se obtienen los mejores resultados a

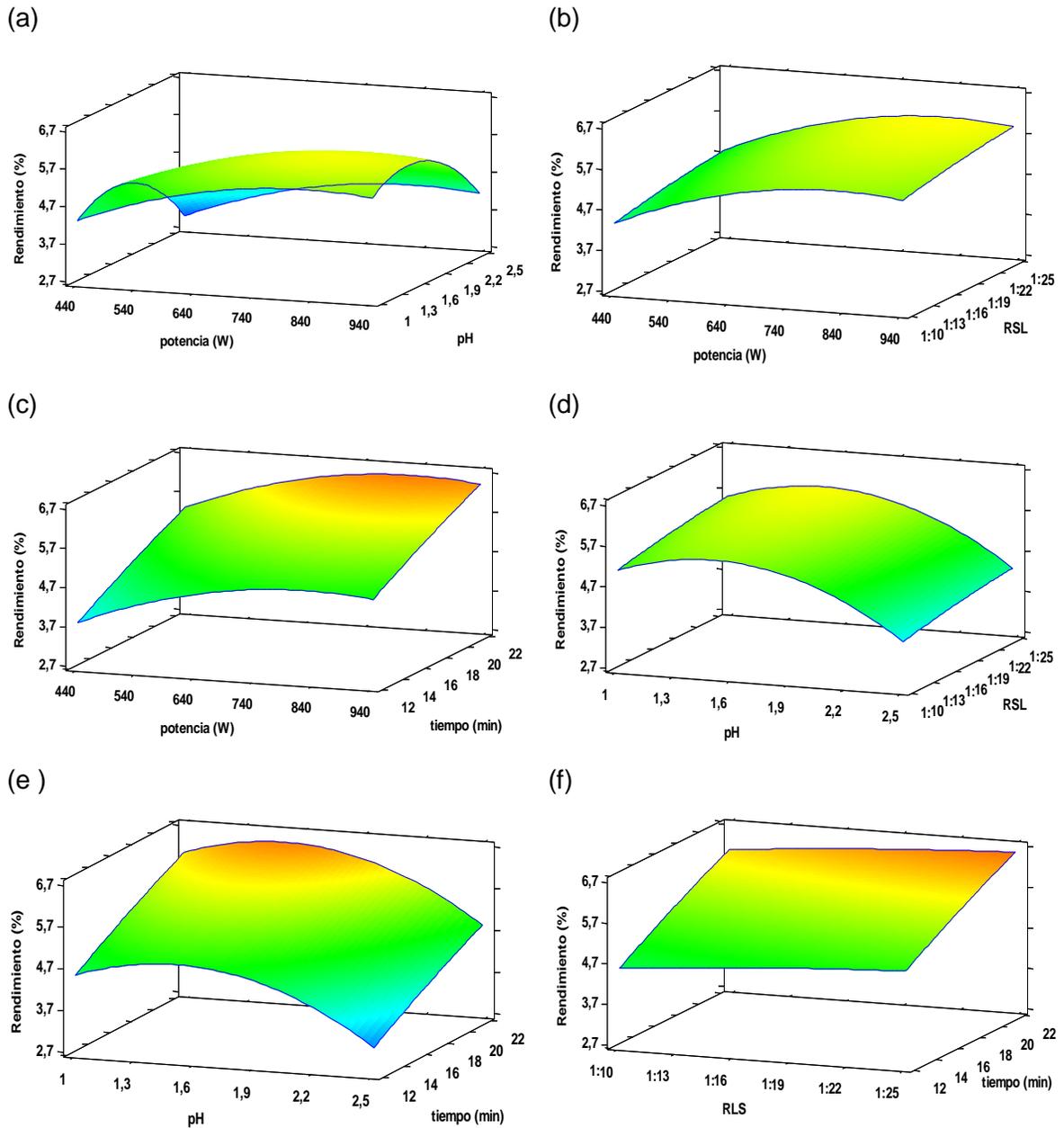
potencias entre 660-880W, pH entre 1,0 – 2,0 y después de 15 min de exposición con el campo electromagnético. Las condiciones óptimas predichas de extracción fueron a 880W, pH 1,1, RSS 1:15 (g:mL) durante 15 minutos con un rendimiento pronosticado de 13,23%. El resultado obtenido bajo estas condiciones fue de  $13,08 \pm 0,24$ , demostrando su validación.

**Figura 2-14:** Superficies de respuesta que muestran el efecto de la potencia (a y b), pH (a y c) y tiempo (b y c), en el rendimiento de la pectina obtenida de cocona utilizando el proceso de extracción asistida por microondas.



En el rendimiento de la pectina obtenida a partir del mesocarpio fibroso de canangucha, los cuatro factores evaluados tuvieron un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ , ver anexo C), logrando los mejores resultados a potencias entre 660-880W, pH entre 1,0 – 2,0, después de 18 min de exposición con el campo electromagnético y RSS 1:20 – 1:25 (figura 2-14). Las condiciones óptimas predichas de extracción fueron a 770W, RSS 1:20 (g:mL), pH 1,5 durante 21 minutos con un rendimiento pronosticado de 6,57%. El resultado obtenido bajo estas condiciones fue  $6,19 \pm 0,23$ , demostrando su validación.

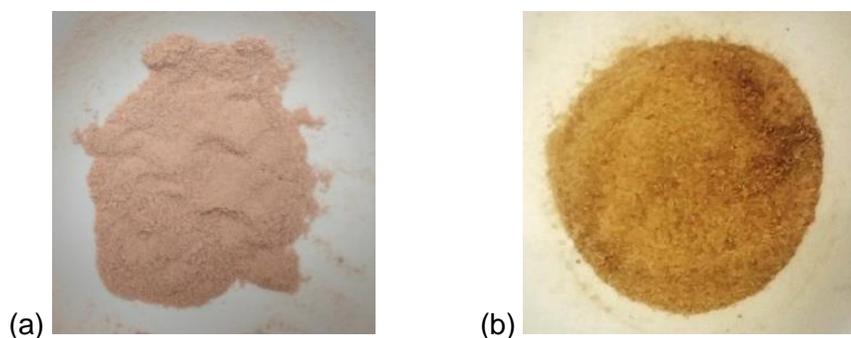
**Figura 2-15:** Superficies de respuesta que muestran el efecto de la potencia (a, b y c), pH (a, d y e), RSS (b, d y f) y tiempo (c, e y f), en el rendimiento de la pectina obtenida de canangucha utilizando el proceso de extracción asistida por microondas.



### 2.3.5 Efecto de las condiciones de EAM en la calidad de pectina

De acuerdo a las especificaciones mínimas de calidad establecidas por el comité de expertos en aditivos alimentarios (JECFA, 2009), se permiten los colores blanco, amarillo claro, gris claro o pardo claro, para la comercialización de pectina en la industria alimenticia; solamente la pectina de canangucha cumple con esta reglamentación (figura 2-16). Además este resultado indica cualitativamente el contenido de impurezas presentes en la pectina, como pigmentos naturales de la matriz que modifican su color, como los flavonoides identificados en la marcha fitoquímica preliminar (Devia-Pineda, 2003).

**Figura 2-16:** Pectina de canangucha (a) y cocona (b), obtenida en la extracción asistida por microondas.



En la Tabla 2-11 y Tabla 2-12, se encuentran las medias por mínimos cuadrados obtenidas en las características químicas de la pectina de canangucha y cocona respectivamente, con los factores de extracción evaluados. Todas las condiciones de proceso tienen un efecto estadísticamente significativo en el % de metoxilo y grado de esterificación de la pectina de canangucha, pero el tiempo no afecta su peso equivalente y acidez libre ( $p > 0,05$ ). En cambio en la calidad de la pectina de cocona, la única variable que no tiene un efecto estadísticamente significativo en las variables evaluadas, es la RSS en el grado de esterificación.

**Tabla 2-11:** Medias por mínimos cuadrados y prueba de Tukey para los niveles de cada factor, en las características de calidad de la pectina obtenida a partir del mesocarpio fibroso de canangucha, con el diseño ortogonal de Taguchi L<sub>16</sub> (4)<sup>4</sup>.

Factores		Peso equivalente (mg/meq)	Acidez libre (meq. carboxilos libres/g)	% metoxilo	Grado de esterificación (%)
Potencia (W)	440	1011,99 <sup>a**</sup>	1,008 <sup>ab</sup>	4,587 <sup>a</sup>	59,517 <sup>a</sup>
	550	1032,33 <sup>ab</sup>	1,006 <sup>ab</sup>	5,178 <sup>c</sup>	62,740 <sup>b</sup>
	660	1102,08 <sup>b</sup>	0,967 <sup>a</sup>	4,785 <sup>ab</sup>	61,938 <sup>b</sup>
	880	1017,22 <sup>a</sup>	1,070 <sup>b</sup>	5,033 <sup>bc</sup>	60,761 <sup>ab</sup>
Valor -p*		0,017	0,004	<0,05	0,001
pH	1.0	793,04 <sup>a</sup>	1,281 <sup>d</sup>	5,181 <sup>b</sup>	56,492 <sup>a</sup>
	1.5	928,65 <sup>b</sup>	1,087 <sup>c</sup>	4,786 <sup>a</sup>	58,428 <sup>a</sup>
	2.0	1075,4 <sup>c</sup>	0,942 <sup>b</sup>	4,838 <sup>a</sup>	62,458 <sup>b</sup>
	2.5	1366,53 <sup>d</sup>	0,743 <sup>a</sup>	4,777 <sup>a</sup>	67,577 <sup>c</sup>
Valor -p		<0,05	<0,05	0,003	<0,05
RSS (g:mL)	1:10	1187,61 <sup>c</sup>	0,878 <sup>a</sup>	4,538 <sup>a</sup>	62,733 <sup>b</sup>
	1:15	1031,66 <sup>b</sup>	1,027 <sup>b</sup>	5,016 <sup>b</sup>	61,658 <sup>b</sup>
	1:20	1017,41 <sup>b</sup>	1,023 <sup>b</sup>	5,023 <sup>b</sup>	61,349 <sup>b</sup>
	1:25	926,948 <sup>a</sup>	1,124 <sup>c</sup>	5,005 <sup>b</sup>	59,214 <sup>a</sup>
Valor -p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tiempo (min)	12	1025,09 <sup>a</sup>	1,005 <sup>a</sup>	4,541 <sup>a</sup>	59,337 <sup>a</sup>
	15	1044,0 <sup>a</sup>	1,019 <sup>a</sup>	5,029 <sup>b</sup>	61,926 <sup>b</sup>
	18	1072,87 <sup>a</sup>	1,008 <sup>a</sup>	5,006 <sup>b</sup>	62,293 <sup>b</sup>
	21	1021,67 <sup>a</sup>	1,020 <sup>a</sup>	5,006 <sup>b</sup>	61,400 <sup>b</sup>
Valor -p		0,313	0,912	<0,05	0,002

\*Los valores p corresponden al análisis de varianza para el efecto lineal de los niveles de los factores.

\*\*Valores con letras diferentes son significativamente diferentes al nivel p<0.05 Tukey HSD.

**Tabla 2-12:** Medias por mínimos cuadrados y prueba de Tukey para los niveles de cada factor, en las características de calidad de la pectina obtenida a partir de la cáscara de cocona, con el diseño ortogonal de Taguchi L<sub>16</sub> (4)<sup>4</sup>.

Factores		Peso equivalente (mg/meq)	Acidez libre (meq. carboxilos libres/g)	% metoxilo	Grado de esterificación (%)
Potencia (W)	440	1352,81 <sup>c**</sup>	0,745 <sup>a</sup>	8,383 <sup>b</sup>	78,430 <sup>c</sup>
	550	1290,56 <sup>b</sup>	0,784 <sup>b</sup>	8,250 <sup>b</sup>	77,232 <sup>b</sup>
	660	1336,08 <sup>c</sup>	0,756 <sup>a</sup>	7,896 <sup>a</sup>	77,097 <sup>ab</sup>
	880	1246,2 <sup>a</sup>	0,817 <sup>c</sup>	8,228 <sup>b</sup>	76,545 <sup>a</sup>
Valor -p*		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
pH	1.0	1138,44 <sup>a</sup>	0,884 <sup>d</sup>	8,140 <sup>a</sup>	74,813 <sup>a</sup>
	1.5	1248,33 <sup>b</sup>	0,802 <sup>c</sup>	8,397 <sup>b</sup>	77,143 <sup>b</sup>
	2.0	1327,77 <sup>c</sup>	0,754 <sup>b</sup>	8,084 <sup>a</sup>	77,521 <sup>b</sup>
	2.5	1511,11 <sup>d</sup>	0,663 <sup>a</sup>	8,137 <sup>a</sup>	79,826 <sup>c</sup>
Valor -p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
RSS (g:mL)	1:15	1319,9 <sup>b</sup>	0,760 <sup>a</sup>	7,998 <sup>a</sup>	77,211 <sup>a</sup>
	1:20	1318,97 <sup>b</sup>	0,769 <sup>a</sup>	8,032 <sup>a</sup>	77,155 <sup>a</sup>
	1:25	1311,39 <sup>ab</sup>	0,770 <sup>a</sup>	8,246 <sup>b</sup>	77,542 <sup>a</sup>
	1:30	1275,39 <sup>a</sup>	0,803 <sup>b</sup>	8,481 <sup>c</sup>	77,395 <sup>a</sup>
Valor -p		0,014	0,001	<0,05	0,336
Tiempo (min)	6	1337,97 <sup>b</sup>	0,752 <sup>a</sup>	8,524 <sup>c</sup>	78,531 <sup>c</sup>
	9	1294,39 <sup>a</sup>	0,776 <sup>ab</sup>	8,225 <sup>b</sup>	77,365 <sup>b</sup>
	12	1289,42 <sup>a</sup>	0,795 <sup>b</sup>	8,148 <sup>b</sup>	76,904 <sup>ab</sup>
	15	1303,87 <sup>ab</sup>	0,780 <sup>b</sup>	7,859 <sup>a</sup>	76,504 <sup>a</sup>
Valor -p		0,010	0,002	<0,05	<0,05

\*Los valores p corresponden al análisis de varianza para el efecto lineal de los niveles de los factores.

\*\*Valores con letras diferentes son significativamente diferentes al nivel p<0.05 Tukey HSD.

- **Peso equivalente y acidez libre:** En la tabla 2-13 y tabla 2-14 se expresan los modelos de regresión de segundo grado para el peso equivalente y acidez libre de la pectina de canangucha y el peso equivalente de cocona. El análisis de varianza para los modelos señalados mostro diferencias altamente significativas y los  $R^2$  ajustados fueron de 90,12%, 89,85% y 90,29%, respectivamente. Indicando el buen ajuste de los modelos para predecir estas características de la calidad de la pectina.

**Tabla 2-13:** Modelos polinomiales y análisis de varianza multifactorial para el peso equivalente (a) y acidez libre (b) de la pectina obtenida a partir del mesocarpio fibroso de canangucha utilizando el diseño ortogonal de Taguchi  $L_{16}(4)^4$ .

<b>(a) Peso equivalente (mg/meq)</b>			
Peso equivalente = $872,148 + 0,691 X_1 - 6,151 X_2 - 33,029 X_3 - 0,001 X_1^2 + 155,519 X_2^2 + 0,655 X_3^2 + 0,125 X_1 X_2 + 0,026 X_1 X_3 - 12,000 X_2 X_3$			
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>
Modelo	5,465	10	5,465
Residuo	229076	38	6028,33
Total	5,487	48	
Total (Corr.)	2,867	47	
$R^2 = 92,01\%$ $R^2$ (ajustado por g.l.) = 90,12% Error estándar del estimado = 77,64 Error medio absoluto = 56,00 Estadístico Durbin-Watson = 2,47 Autocorrelación residual de retardo 1 = - 0,25			
<b>(b) Acidez libre (meq. carboxilos libres/g)</b>			
Acidez libre = $1,442 - 0,001 X_1 - 0,250 X_2 + 0,039 X_3 + 0,000001 X_1^2 - 0,006 X_2^2 - 0,0005 X_3^2 - 0,0001 X_1 X_2 - 0,00001 X_1 X_3 - 0,0014 X_2 X_3$			
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>
Modelo	51,503	10	5,15031
Residuo	0,201	38	0,005
Total	51,704	48	
Total (Corr.)	2,448	47	
$R^2 = 91,79\%$ $R^2$ (ajustado por g.l.) = 89,85% Error estándar del estimado = 0,072 Error medio absoluto = 0,051 Estadístico Durbin-Watson = 2,188 Autocorrelación residual de retardo 1 = -0,103			

\*  $X_1$ :potencia,  $X_2$ :pH y  $X_3$ : Relación Sólido: solvente.

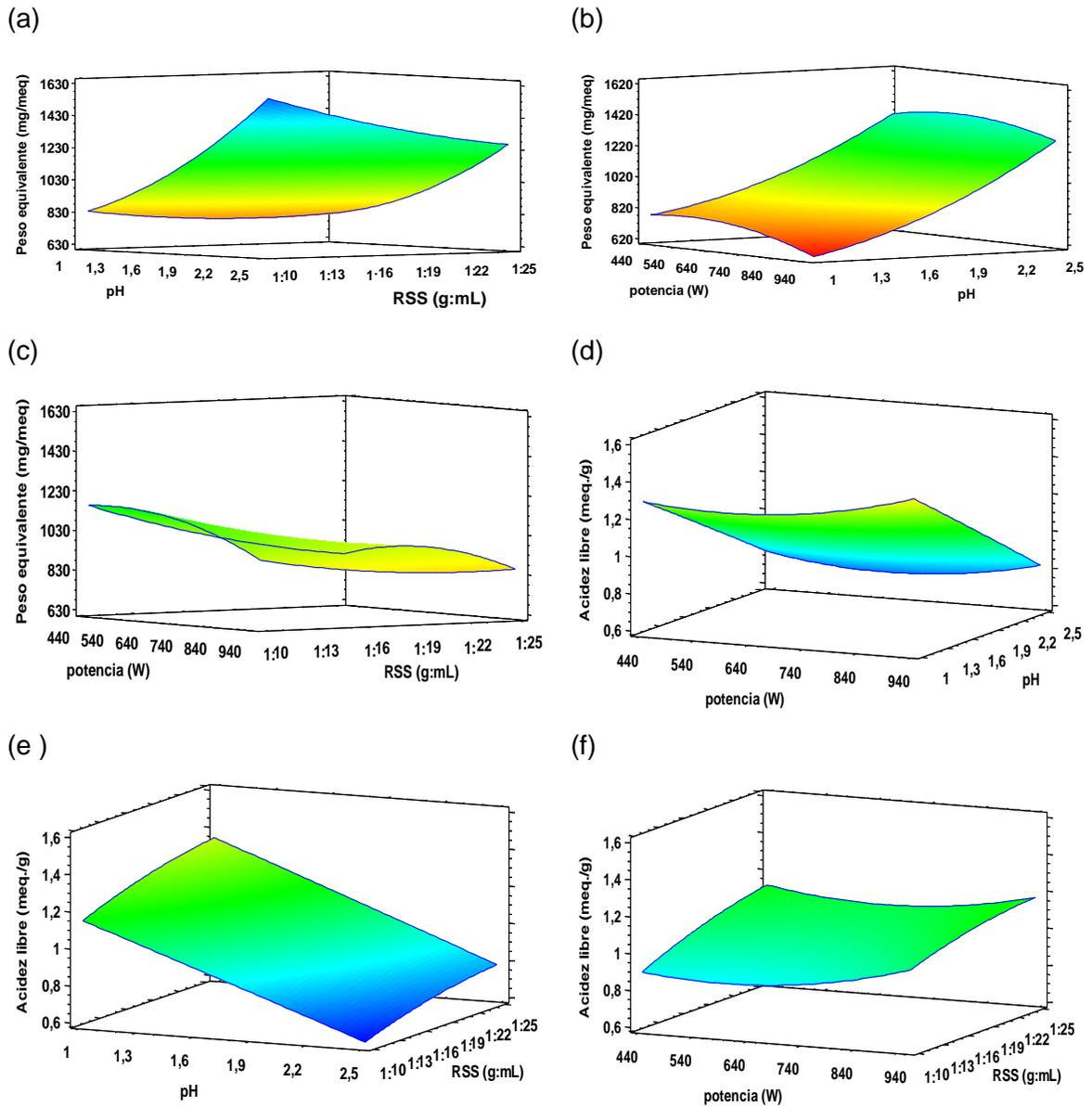
**Tabla 2-14:** Modelo polinomial y análisis de varianza multifactorial para el peso equivalente de la pectina obtenida a partir de la cáscara de cocona utilizando el diseño ortogonal de Taguchi  $L_{16}(4)^4$ .

Peso equivalente (mg/meq) = $1195,05 + 0,172 X_1 - 17,607 X_2 + 12,967 X_3 - 37,432 X_4 - 0,0003 X_1^2 + 73,456 X_2^2 - 0,351 X_3^2 + 1,612 X_4^2$ .			
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio
Modelo	8,289	9	9,210
Residuo	84507,0	39	2166,85
Total	8,297	48	
Total (Corr.)	1,049	47	
$R^2 = 91,94\%$ $R^2$ (ajustado por g.l.) = 90,29% Error estándar del estimado = 46,55 Error medio absoluto = 35,92 Estadístico Durbin-Watson = 1,20 Autocorrelación residual de retardo 1 = 0,39			

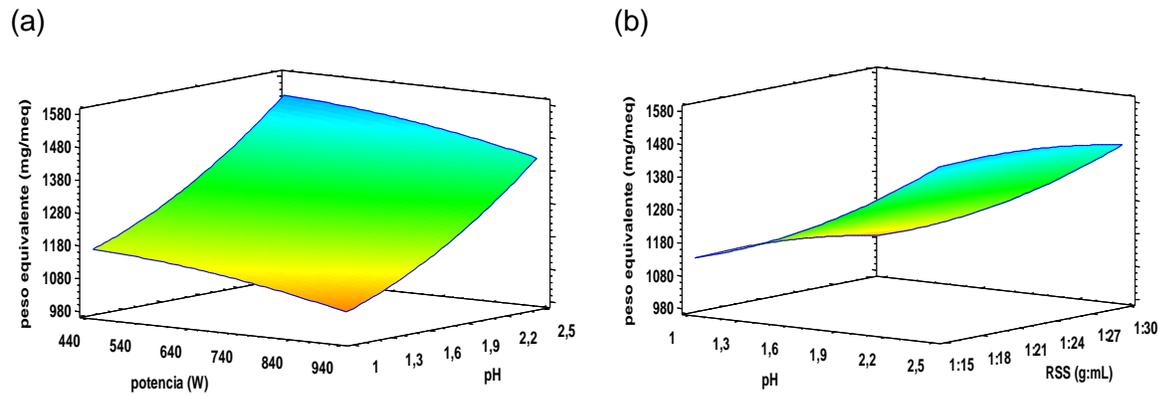
\*  $X_1$ : potencia,  $X_2$ : pH,  $X_3$ : Relación Sólido: solvente y  $X_4$  el tiempo de extracción.

El peso equivalente y la acidez libre tienen una relación directa con el pH de extracción. Debido a que a pH's ácidos se favorece la hidrólisis de los ésteres metílicos, disminuyendo su estado en forma de sales o ésteres y aumentando los grupos carboxilos libres (Ferreira, 2007); que representa a menor pH mayor valor en la acidez libre y menor valor de peso equivalente como se puede observar en la Figura 2-17 y Tabla 2-12. Además la RSS y potencia evaluada en la pectina de canangucha (Figura 2-17) y cocona (Figura 2-18) tuvo un efecto notable en el peso equivalente, que puede deberse a la degradación parcial de la pectina por las condiciones más extremas del proceso de extracción (mayor RSS y potencia), generando una fragmentación de las cadenas de los ácidos galacturónicos, que representa un menor peso molecular y por ende menor peso equivalente (Hosseini *et al.*, 2016).

**Figura 2-17:** Superficies de respuesta que muestran el efecto de la potencia, pH y RSS en el peso equivalente (a, b, c) y acidez libre (d e y f) de la pectina obtenida de canangucha utilizando el proceso de extracción asistida por microondas.



**Figura 2-18:** Superficies de respuesta que muestran el efecto de la potencia (a), pH (a y b) y RSS (b), en el peso equivalente de la pectina obtenida de cocona utilizando el proceso de extracción asistida por microondas.



- **Contenido de metoxilo y grado de esterificación:** La pectina obtenida a partir del mesocarpio fibroso de la canangucha es de bajo metoxilo al obtener valores menores al 7% (4,538 - 5,181%) (ver Tabla 2-11), aunque tiene un alto grado de esterificación (>50%) que supondría que son de alto metoxilo, pero al utilizar para su determinación una metodología no específica e indirecta podrían existir grupos carboxilo esterificados con otros grupos como etoxilo o formando amidas, generando este valor (Muñoz-Ordoñez, 2011). En cambio la de la cáscara de cocona (ver Tabla 2-12), es de alto metoxilo y alto grado de esterificación, al obtener valores entre 7,859–8,524% y 74,813-79,826%, respectivamente.

Como se puede observar en las tablas 2-11 y 2-12, solamente en un solo nivel del factor pH evaluado en las dos matrices, hay un incremento estadísticamente significativo del contenido de metoxilo, en canangucha a pH 1,0 y en cocona a pH 1,5, que puede deberse a la metoxilación de algunos grupos de la cadena de ácido galacturónico que se favorece en un pH específico, como lo expresa Muñoz-Ordoñez, 2011.

### **2.3.6 Comparación de los métodos de extracción EAM y calentamiento convencional para la obtención de pectina a partir de frutos amazónicos.**

El rendimiento, composición y características físicoquímicas de la pectina varía de acuerdo a su fuente y a las condiciones utilizadas para su extracción, como se puede observar en las Tablas 2-15 y 2-16.

La EAM permitió obtener en un menor tiempo de proceso (15min) la misma cantidad de pectina de la cáscara de cocona ( $13,08 \pm 0,24$ ) comparada con la obtenida por el método convencional durante 60min ( $p=0,337$ ) (Tabla 2-15), esto sucede por la rotación dipolar y conducción iónica de las moléculas e iones de la matriz y el solvente que genera un rápido calentamiento aumentando rápidamente su interacción (Wang *et al.*, 2016). Además las condiciones de proceso utilizadas en la extracción, aumentaron el rendimiento a las reportadas por Muñoz-Ordoñez (2011) también en los residuos del despulpado de cocona pero sin retirarle las semillas (10% de pectinas de bajo metoxilo), utilizando el método convencional con una solución de ácido clorhídrico a pH 2,2, RSS 1:3 durante 65 min.

Este resultado es satisfactorio teniendo en cuenta que el rendimiento de las fuentes comerciales se encuentra en el rango productivo del 10-15% en la cáscara de manzana y en la remolacha azucarera entre el 10- 20%, aunque es inferior al que se obtiene en los cítricos (25-35%) y en el girasol (15-25%) (Cybercolloids, 2013; Abid *et al.*, 2017). En comparación con otras fuentes utilizando la EAM, el rendimiento de pectina obtenido en la cocona fue similar al reportado por Seixas *et al.* (2014) en la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*) utilizando ácido nítrico (13%) y ácido acético (12,9%) a 628W durante 9 min, pH 2,0 y RSS 1:50, superior al rendimiento obtenido por Thirugnanasambandham *et al.* (2014) de 7,50%, en la pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) a 400 W, 45°C durante 20 min y RSS 24 g/mL, pero inferior al obtenido por Liew *et al.* (2016), en la cáscara de pomelo de  $27,65 \pm 0,90\%$ , a pH 1,8 durante 6,40 min y 643.44 W de potencia y al obtenido por Rungrodnimitchai (2011) en la palma de azúcar (23,50%), utilizando agua destilada acidificada con HCl a pH 2,0, RSS 1:30, 80°C durante 3 min a 800 W.

Con respecto a la calidad de la pectina de la cascara de cocona, la EAM permitió obtener pectinas de alto metoxilo ( $7,67 \pm 0,13\%$ ), con un mayor peso equivalente ( $1079,41\text{mg/meq.}$ ) y menor acidez libre ( $0,93\text{ meq./g}$ ) comparada con la pectina obtenida con el calentamiento convencional (ver Tabla 2-15). Esto sucede de acuerdo a Ferreira (2007), al utilizar un tiempo muy prolongado de calentamiento (60 min) puede inducir a la degradación térmica de la pectina aumentando la fragmentación de las cadenas de los ácidos galacturónicos y acelerando la separación de los metoxilos, que representa un menor peso equivalente y un aumento en su acidez libre.

**Tabla 2-15:** Efecto de los métodos de extracción en el rendimiento, composición y en las características físicoquímicas de la pectina de cocona.

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE EXTRACCIÓN		ANOVA UN FACTOR <i>Valor -p</i>
	Metodo convencional	EAM	
Condiciones de extracción	92,5°C, RSS 1:15, pH 1,1 y 60min	880W, RSS 1:15, pH 1,1 y 15 min	
Rendimiento (%)	$12,78 \pm 0,41^*$	$13,08 \pm 0,24$	0,337**
Peso equivalente (mg/meq.)	$663,73 \pm 23,37$	$1079,41 \pm 32,87$	<0,05
Acidez libre (meq. carboxilos libres/g)	$1,51 \pm 0,05$	$0,93 \pm 0,03$	<0,05
Contenido de metoxilo (%)	$6,82 \pm 0,18$	$7,67 \pm 0,13$	<0,05
Grado de esterificación (%)	$59,34 \pm 1,15$	$72,74 \pm 0,71$	<0,05
Contenido de ácido anhidrouónico (% AUA)	$90,41 \pm 3,08$	$81,06 \pm 3,83$	<0,05

\*  $\bar{x} \pm D.E.$ ; \*\* Valor- $p < 0,05$  son significativamente diferentes.

Como se puede observar en la Tabla 2-16, la EAM no fue tan efectiva en el mesocarpio fibroso de canangucha, al obtener un rendimiento de  $6,19 \pm 0,23\%$ , inferior al logrado con el calentamiento convencional ( $8,51 \pm 0,43\%$ ), esto puede deberse a que sus propiedades dieléctricas depende directamente de su composición, y como se describió en el capítulo 2.3.2 de este documento, esta matriz tiene un mayor contenido de grasa bruta ( $6,48\%$  b.s.) a comparación de la cáscara de cocona ( $0,81\%$  b.s.) De acuerdo a

Venkatesh and Raghavan (2004), la constante dieléctrica y el factor de pérdida de una matriz disminuye al aumentar su contenido de grasa, generando una disminución en la temperatura y por consiguiente una menor difusividad del analito objetivo al solvente; aunque hay que tener en cuenta que a medida del tiempo la constante dieléctrica aumenta, por la generación de iones en las reacciones hidrolíticas y de componentes polares durante el tratamiento como lo expresa Yang *et al.* (2016), obteniendo el mayor rendimiento de extracción en el mayor tiempo estudiado (21 min).

El rendimiento de pectina obtenido en el mesocarpio fibroso de canangucha es superior al reportado por Yuliarti *et al.* (2015), de  $3,83 \pm 0,07\%$  utilizando el orujo de Kiwi de oro (*Actinidia chinensis*) en una solución con ácido cítrico a pH 2,29 en una RSS 1:3 g/mL, a 50°C durante 60 min y al reportado por Košťálová *et al.* (2016) en la calabaza de 7,3%, utilizando agua acidificada con HCl a pH 2,5, en una RSS 1:50 durante 60 min a 85 °C.

**Tabla 2-16:** Efecto de los métodos de extracción en el rendimiento, composición y en las características físicoquímicas de la pectina de canangucha.

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE EXTRACCIÓN		ANOVA UN FACTOR Valor -p
	Metodo convencional	EAM	
Condiciones de extracción	92,5°C, RSS 1:20, pH 1,5 y 60min	770W, RSS 1:20, pH 1,5 y 21min	
Rendimiento (%)	8,51 ± 0,43*	6,19 ± 0,23	0,001**
Peso equivalente (mg/meq.)	1029,50 ± 68,96	970,30 ± 34,54	0,090
Acidez libre (meq. carboxilos libres/g)	0,98 ± 0,06	1,03 ± 0,04	0,087
Contenido de metoxilo (%)	4,44 ± 0,20	4,75 ± 0,13	0,011
Grado de esterificación (%)	59,53 ± 1,53	59,75 ± 1,16	0,789
Contenido de ácido anhidrouónico (% AUA)	58,04 ± 4,48	56,61 ± 3,91	0,524

\*  $\bar{x} \pm D.E.$ ; \*\* Valor-p<0,05 son significativamente diferentes.

El contenido de ácido galacturónico es un parámetro importante que determina la calidad de la pectina obtenida; de acuerdo a las especificaciones dispuestas por la FAO y la UE debe contener mínimo el 65% para su uso en la industria alimenticia (Hosseini *et al.*, 2016). En este estudio, solamente las pectinas obtenidas de la cáscara de cocona cumplen con este requisito, al obtener  $90,41 \pm 3,08\%$  de AUA en el calentamiento convencional y  $81,06 \pm 3,83\%$  de AUA en la EAM (Tabla 2-15). Estos valores son cercanos a los reportados por Fishman *et al.* (2006) en la pectina extraída del albedo (91%), pulpa (81%) y flavedo de limón (81%), utilizando la EAM durante 10, 6 y 2,5 min, respectivamente a 630W, pH 2,0 acidificado con HCl en una RSS 1:25. Con respecto al contenido de ácido galacturónico de la pectina de canangucha obtenido por debajo del límite establecido (Tabla 2-16), indica la presencia en su estructura de impurezas como galactanos, xilanos, hemicelulosas u otras sustancias que son susceptibles a la precipitación alcohólica (Zegada, 2015).

## 2.4 Conclusiones

- Se calculó la cantidad de subproductos residuales que se generan en el aprovechamiento comestible de canangucha y cocona, que podrían ser aprovechados para la extracción de pectina, los cuales tuvieron un rendimiento después de su procesamiento del 10,56% y 27,97%, respectivamente.
- Se realizó el análisis proximal de las dos matrices estudiadas, encontrando que canangucha tiene el mayor contenido de grasa cruda (6,48%) y materia seca (34,46%), y cocona el mayor contenido de proteína (7,21%) y cenizas (3,66%), y ambas matrices tienen un alto contenido de carbohidratos >87%, información importante teniendo en cuenta que su composición influye en sus propiedades dieléctricas que están directamente relacionadas con la eficiencia de la extracción asistida por microondas.
- La extracción asistida por microondas permitió la obtención de pectina a partir de canangucha y cocona en un menor tiempo de extracción comparado con el utilizado en el método convencional, para el caso de cascara de cocona los

mejores resultados fueron 880W, pH 1,1, RSS 1:15 g:mL durante 15 minutos y para el mesocarpio fibroso de canangucha 770W, pH 1,5, RSS 1:20 g:mL durante 21 minutos.

- La cascara de cocona presentó los mayores rendimientos de pectina, independientemente del método utilizado. En la extracción asistida por microondas fue  $13,08 \pm 0,24\%$  y por el método estandarizado  $12,78 \pm 0,41\%$ . Se determinó que era de alto metoxilo ( $>7\%$ ) y un grado de esterificación de  $72,74\%$ , además su peso equivalente es de  $1079,41$  mg/meq., acidez libre  $0,93$  meq. Carboxilos libres/g, y contenido de ácido anhidrouónico de  $81,06\%$  AUA.
- Por el contrario los rendimientos obtenidos desde el mesocarpio de canangucha, fueron de bajo valor independiente del método utilizado. Entre los dos métodos, el menor rendimiento fue el de EAM ( $6,19 \pm 0,23\%$ ), debido al alto contenido de grasa cruda en la matriz, lo que conduce a una menor constante dieléctrica y menor factor de pérdida. Con el método convencional el rendimiento obtenido fue de  $8,51 \pm 0,43\%$  de pectina bajo metoxilo ( $4,44\%$ ) con un peso equivalente  $1029,50$  mg/meq., acidez libre de  $0,98$  meq./g y con contenido de ácido anhidrouónico de  $58,04\%$  AUA.
- Los resultados logrados en la caracterización fisicoquímica realizada a la pectina de las dos matrices, permitió evidenciar la influencia que tienen las condiciones usadas para la extracción (pH, potencia, RSS, tiempo de extracción y fuente de extracción) con su calidad. Al obtener pectinas con menor peso equivalente y mayor acidez libre, utilizando las condiciones más extremas del proceso de extracción (potencias altas, pH's extremadamente ácidos y mayor RSS). El tiempo fue significativo pero no representativo para estas características.

## Bibliografía

Abid, M.; Cheikhrouhou, S.; Renard, C. M. G. C.; Bureau, S.; Cuvelier, G.; Attia, H. y Ayadi, M. A. 2017. Characterization of pectins extracted from pomegranate peel and their gelling properties. *Food Chemistry* 215: 318 – 325.

Adetunji, L. R.; Adekunle, A.; Orsat, V. y Raghavan, V. 2017. Advances in the pectin production process using novel extraction techniques. A review. *Food Hydrocolloids* 62: 239-250.

AOAC. 1997. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16th Edition, 3rd Revision. Washinton, D.C. USA.

Bagherian, H.; Ashtiani, F. Z.; Fouladitajar, A. y Mohtashamy, M. 2011. Comparisons between conventional, microwave and ultrasound- assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 50 (11-12): 1237 - 1243.

Barrera, J. A.; Hernández, M. S. y Melgarejo, L. M. 2011. Estudios ecofisiológicos en la Amazonia colombiana. Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 116p.

Canteri, M. H. G.; Moreno, L.; Wosiacki, G. y Scheer, A. d P. 2012. Pectina: da Matéria-Prima ao produto final. *Polímeros* 22 (2): 149-157.

Cardona, J. E. C. 2011. Estudio de metabolitos fijos y volátiles en tres morfotipos de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) procedentes del departamento del Guaviare. 227h. Trabajo de grado (Maestría en química). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de ciencias. Disponible en la Biblioteca digital de la Universidad Nacional de Colombia.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/5302/1/julianaerikacristinacardonajaramillo.2011.pdf>.

Castaño-Arboleda, N.; Cárdenas, D. y Otavo, E. 2007. Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia CORPOAMAZONIA. Bogotá, Colombia. 266p.

Chan, C.-H.; Yusoff, R.; Ngoh, G.-C. y Kung, F. W.-L. 2011. Microwave-assisted extractions of active ingredients from plants. *Journal of Chromatography A*. 1218 (37): 6213-6225.

Chemat, F. y Cravotto, G. 2013. Microwave-Assisted Extraction for bioactive compound. Theory and practice. Food Engineering Series. Springer US. 240p.

Chen, Q.; Hu, Z.; Yao, F. Y.-D. y Liang, H. 2016. Study of two-stage microwave extraction of essential oil and pectin from pomelo peels. *LWT- Food Science and Technology* 66: 538-545.

Cordeiro, L. M. C.; Pierobom de Almeida, C. and Lacomini, M. 2015. Unusual linear polysaccharides: (1→5)- $\alpha$ -D-glucan and (1→4)- $\beta$ -D-xylan from pulp of buriti (*Mauritia flexuosa*), an edible palm fruit from the Amazon region. *Food Chemistry* 173: 141-146.

Crecente, J. 2009. Síntesis orgánica asistida por microondas: Obtención de enol carbamatos, tetrahidroisoquinolinas, benzoazepinas, tiazolinas, sulfuros de fosfoles, isoflavonas, arilcumarinas, cumarinocumarinas y núcleos de dendrímeros: aplicaciones. 684h. Tesis de Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela.

Cubero, N.; Monferrer, A. y Villalta, J. 2002. Aditivos alimentarios. Madrid – España: Ediciones Mundi-Prensa A. Madrid Vicente. 236p.

Cybercolloids. 2013. Introduction to pectin- Sources <http://www.cybercolloids.net/library/pectin/introduction-pectin-sources>.

---

Devia-Pineda, J. E. 2003. Proceso para producir pectinas cítricas. Revista Universidad EAFIT 129: 21- 29.

Ferreira, Salomón. 2007. Pectinas: Aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial. Primera edición. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, Proceditor Ltda, 186p.

Fishman, M. L.; Chau, H. K.; Hoagland, P. D. y Hotchkiss, A. T. 2006. Microwave-assisted extraction of lime pectin. Food Hydrocolloids 20 (8): 1170-1177.

Guerra, M.; Díaz, X.; Madrigal, L. y Hidalgo, G. 2011. Caracterización físico-química del fruto de la palma de moriche (*Mauritia flexuosa*) y de harina del tronco. Disponible en: [www.postgradovipi.50webs.com/archivos/.../agro2011\\_3.pdf](http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/.../agro2011_3.pdf).

Guo, X.; Han, D.; Xi, H.; Rao, L.; Liao, X.; Hu, X. y Wu, J. 2012. Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A Comparison. Carbohydrate Polymers 88: 441-448.

Hernández, M. S. y Barrera, J. A. 2004. Bases técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de especies nativas de la Amazonia. Bogotá - Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 100p.

Hernández, M. S.; Barrera, J. A.; Bardales, X. L. y Carrillo, M. P. 2007. Manejo y transformación de frutales nativos de la Amazonia. Revista Colombia Amazónica Edición especial: 191-204.

Hernández, M. S.; Barrera, J. A.; Páez, D.; Oviedo, E. y Romero, H. 2004. Aspectos biológicos y conservación de frutas promisorias de la Amazonia Colombiana. Bogotá - Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 150p.

Herrera, Y. M. 2013. Microencapsulación de compuestos con poder antioxidante extraídos a partir de semillas sin fermentar de *Theobroma cacao* y *Theobroma grandiflorum*. 88p. Trabajo de grado (Maestría en Ciencia y Tecnología de alimentos).

Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Facultad de Ciencias. Disponible en la Biblioteca digital de la Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/39585/1/01107529.2013.pdf>.

Hosseini, S. S.; Khodaiyan, F. y Yarmand, M. S. 2016. Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate polymers* 140: 59-65.

JECFA. 2009. Monografía 7: Pectins. FAO. Disponible en <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/monograph7/additive-306-m7.pdf>.

Košťálová, Z.; Aguedo, M. y Hromádková, Z. 2016. Microwave-assisted extraction of pectin from unutilized pumpkin biomass. *Chemical Engineering and Processing* 102: 9-15.

Lasso, C. A.; Rial, A. y González-B., V. 2013. Morichales y cananguchales de la Orinoquia y Amazonia: Colombia-Venezuela. Parte I. Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia, VII. Bogotá. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 344p.

Lee, C. S.; Binner, E.; Winkworth-Smith, C.; John, R.; Gomes, R. y Robinson, J. 2016. Enhancing natural product extraction and mass transfer using selective microwave heating. *Chemical Engineering Science* 149: 97-103.

Li, D.-Q.; Jia, X.; Wei, Z. y Liu, Z.-y. 2012. Box-Behnken experimental design for investigation of microwave-assisted extracted sugar beet pulp pectin. *Carbohydrate Polymers* 88 (1): 342-346.

Liew, S. Q.; Chin, N. L y Yusof, Y. A. 2014. Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2: 231-236.

Liew, S.Q.; Ngoh, G. C.; Yusoff, R. y Teoh, W. H. 2016. Sequential ultrasound-microwave assisted acid extraction (UMAEE) of pectin from pomelo peels. *International Journal of*

---

Biological Macromolecules. Available online 24 de agosto de 2016. <http://dx.doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.ijbiomac.2016.08.065>.

Liu, L.; Cao, J.; Huang, J.; Cai, Y. y Yao, J. 2010. Extraction of pectins with different degrees of esterification from mulberry branch bark. *Bioresource Technology* 101 (9): 3268-3273.

Maran, J. P. y Prakash, K. A. 2015. Process variables influence on microwave assisted extraction of pectin from waste *Carcia papaya* L. peel. *International Journal of Biological Macromolecules* 73: 202 – 206.

Maran, J. P.; Sivakumar, V.; Thirugnanasambandham, K. y Sridhar, R. 2013. Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel. *Carbohydrate polymers* 97 (2): 703 – 709.

Maran, J. P.; Sivakumar, V.; Thirugnanasambandham, K. y Sridhar, R. 2014. Microwave assisted extraction of pectin from waste *Citrullus lanatus* fruit rinds. *Carbohydrate polymers* 101: 786-791.

Maran, J. P.; Swathi, K.; Jeevitha, P.; Jayalakshmi, J. y Ashvini, G. 2015. Microwave-assisted extraction of pectic polysaccharide from waste mango peel. *Carbohydrate Polymers* 123: 67-71.

Munarin, F.; Tanzi, M. C. y Petrini, P. 2012. Review- Advances in biomedical applications of pectin gels. *International Journal of Biological Macromolecules* 51 (4): 681 – 689.

Muñoz-Ordoñez, F. J. 2011. Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (*Solanum sessiliflorum*), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto. 68 h. Trabajo de grado (Maestría en Ingeniería Agrícola). Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Agrícola. Disponible en la Biblioteca digital de la Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/4006/1/822093.2011.pdf>.

Quispe-Jacobo, F.; Ayala-Rojas, M.; Ingunza-Reyes, G.; Landeo-Pino, E. y Pascual-Chagman, G. 2009. Caracterización de aceites, tortas y harinas de frutos de unguurahui (*Jessenia polycarpa*) y aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) de la Amazonía peruana. Rev. Soc. Quím. Perú 75 (2): 243 – 253.

Rungrodnimitchai, S. 2011. Novel source of pectin from young sugar palm by microwave assisted extraction. Procedia Food Science 1: 1553-1559.

Seixas, F. L.; Fukuda, D. L.; Turbiani, F. R. B.; Garcia, P. S.; Petkowicz, C. L. de O.; Jagadevan, S. y Gimenes, M. L. 2014. Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) by microwave-induced heating. Food hydrocolloids 38: 186-192.

Silva Filho, D. F. d. 1998. Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal): Cultivo y utilización. Ed. T.d.c. amazónica. Caracas – Venezuela- 105p.

Silva, D. F. P, d.; Rocha, R. H. C. y Salomão, L. C. C. 2011. Postharvest quality of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) stored under ambient condition. Revista Ceres Viçosa 58 (4): 476-480.

Thirugnanasambandham, K. y Sivakumar, V. 2015. Application of D-optimal design to extract the pectin from lime bagasse using microwave green irradiation. International Journal of Biological Macromolecules 72: 1351-1357

Thirugnanasambandham, K.; Sivakumar, V. y Prakash Maran, J. 2014. Process optimization and analysis of microwave assisted extraction of pectin from dragon fruit peel. Carbohydr. Polym. 112: 622–626.

Trujillo-González, J. M.; Torres Mora, M. A y Santana Castañeda, E. 2011. La palma de moriche (*Mauritia flexuosa* L. f.) un ecosistema estratégico. Orinoquia 15 (1): 62-70.

Vargas-Muñoz, D. P. 2015. Efecto de la liofilización sobre propiedades fisicoquímicas y vida útil de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) en polvo. 115h. Trabajo de grado

---

(Maestría de Ingeniería Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Facultad de Administración e Ingeniería. Disponible en la Biblioteca digital de la Universidad Nacional de Colombia.

[http://www.bdigital.unal.edu.co/48720/1/Diana\\_Patricia\\_Vargas\\_Mu%C3%B1oz.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/48720/1/Diana_Patricia_Vargas_Mu%C3%B1oz.pdf).

Venkatesh, M. S. y Raghavan. 2004. Review. An Overview of Microwave processing and dielectric properties of Agri-food Materials. *Biosystems Engineering* 88 (1): 1-18.

Wang, H.; Ding, J. y Ren, N. 2016. Recent advances in microwave-assisted extraction of trace organic pollutants from food and environmental samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 75: 197-208.

Wicker, L.; Kim, Y.; Kim, M.-J.; Thirkield, B.; Lin, Z. y Jung, J. 2014. Pectin as a bioactive polysaccharide – Extracting tailored function from less. *Food hydrocolloids* 42: 251-259.

Wuestenberg, T. 2014. Cellulose and cellulose derivatives in the Food Industry: Fundamentals and applications. Published by Wiley-VCH. 440p.

Yang, J.; Zhao, K. S. y He, Y. J. 2016. Quality evaluation of frying oil deterioration by dielectric spectroscopy. *Journal of Food Engineering* 180: 69-76.

Yuliarti, O.; Goh, K. K. T.; Matia-Merino, L.; Mawson, J. y Brennan, C. 2015. Extraction and characterisation of pomace pectin from gold kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *Food Chemistry* 187 (15): 290 – 296.

Zhang, H.-F.; Yang, X.-H. y Wang, Y. 2011. Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: Current status and future directions. *Trends in Food Science & Technology* 22 (12): 672-688.

Zegada, V. Y. 2015. Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). *Investigación y desarrollo* 15 (1): 65-77.

# **3. Conclusiones generales y recomendaciones**

## **3.1 Conclusiones generales**

Esta investigación demostró que la extracción asistida por microondas es una herramienta valiosa para la obtención de pectina, al requerir un menor tiempo de proceso comparado con el método convencional, que representa un ahorro considerable de energía y menor costo de producción, pero su rendimiento y calidad depende directamente de la fuente y de las condiciones utilizadas en el proceso de extracción.

Se vislumbra el potencial de la cáscara de cocona como una nueva fuente comercial de pectina de alto metoxilo (7,67%) con un alto grado de esterificación (72,74%), al obtener un rendimiento que se encuentra dentro del rango productivo de algunas fuentes comerciales (>10%) y su contenido de ácido anhidrouónico cumple con el porcentaje estipulado por la normatividad vigente (> 65%); aunque su color no es el adecuado, pero puede ser por presencia de colorantes naturales como lo indico el análisis cualitativo realizado de metabolitos secundarios.

Los resultados obtenidos en este trabajo son un aporte al conocimiento que brindará información importante no solo para futuras investigaciones sino también para la industria que buscan diversificar el uso integral de frutos promisorios de la Amazonia colombiana, como son canangucha y cocona; enfocados en el desarrollo de nuevos productos, en la obtención de compuestos naturales y en el uso de nuevas tecnologías que depende de sus propiedades dieléctricas directamente relacionadas con su composición proximal.

## 3.2 Recomendaciones

Como complemento a este estudio es conveniente realizar la evaluación de otras variables que puedan influir en la extracción y calidad de la pectina, como el tamaño de la matriz, estado de madurez y ecotipo del fruto utilizado para el estudio, agentes de extracción y de precipitación, velocidad de agitación y ciclos de extracción; sería interesante además evaluar el tamaño del filtro para su obtención y la necesidad de centrifugar el extracto filtrado, para mejorar la pureza de la pectina obtenida.

Para corroborar plenamente la aptitud que tiene la cáscara de cocona para ser una nueva fuente comercial de pectina se recomienda realizar estudios enfocados en su composición, estructura, pureza, inocuidad, estabilidad, evaluación de todas sus propiedades fisicoquímicas, eléctricas y funcionales, además de estudios orientados en explorar su potencial de uso en diferentes aplicaciones en la industria alimentaria.

Se recomienda para disminuir los costos de producción, realizar un estudio que evalúe la concentración mínima de etanol que se requiere para precipitar y lavar la pectina extraída, además incluir otras etapas en el proceso de extracción como la concentración del filtrado, que reduzca considerablemente el volumen requerido para su obtención.

Para posteriores investigaciones se recomienda realizar un pretratamiento a las muestras retirando su materia oleosa, para evitar que influya en sus propiedades dieléctricas y retirar los pigmentos naturales, para mejorar el color de la pectina que es una característica importante que limita su utilidad y luego evaluar la efectividad de la extracción asistida por microondas.

Los ácidos minerales fuertes como el clorhídrico son los más utilizados a nivel comercial para la extracción de pectina, pero su uso puede ocasionar efectos negativos como la corrosión de los equipos, riesgo para la salud del consumidor, efecto contaminante al medio ambiente y alto costo para el tratamiento de los residuos, como una alternativa segura y ecológica se recomienda realizar estudios evaluando la efectividad de ácidos orgánicos débiles como ácido cítrico, tartárico y acético.

Se recomienda identificar, cuantificar y caracterizar otros compuestos naturales funcionales (vitaminas, antioxidantes, pigmentos, polisacáridos, compuestos volátiles, entre otros) a los frutos con menor contenido de pectina como el marañón, tucuma, uva caimaronana y asai, además realizar trabajos de investigación enfocados en evaluar su utilidad para la fabricación de productos alimenticios nutraceuticos, que generará un mayor interés de uso en el ámbito industrial, lo que permitirá su aprovechamiento integral y sostenible.

Se espera que los resultados obtenidos generen inquietudes enfocadas en buscar nuevas fuentes nacionales de pectina, un compuesto natural multifuncional pero no fabricado en el país, lo que reduciría su costo de venta, generaría una fuente de ingresos para la población local y se aprovecharía la inmensa riqueza forestal de nuestro país, además realizar otros estudios que permitan verificar el contenido y tipo de pectina que se puede encontrar en la Matandrea.



## Anexo A: Análisis estadístico de los datos obtenidos en la determinación del contenido de pectina de frutos amazónicos

**Tabla ANOVA para % Pectato de calcio por parte no comestible de frutos de la región amazónica.**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4105,69	12	342,141	390,03	<0,05
Intra grupos	88,5992	101	0,87722		
Total (corregido)	4194,29	113			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % Pectato de calcio entre un nivel de Subproducto y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla ANOVA para % Pectato de calcio por Parte comestible de frutos amazónicos.**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	989,38	7	141,34	121,36	<0,05
Intra grupos	74,5357	64	1,16462		
Total (corregido)	1063,92	71			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % Pectato de calcio entre un nivel de Parte comestible y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.



## Anexo B: Análisis estadístico del efecto individual de los factores evaluados en la extracción asistida por microondas de pectina

➤ *Análisis estadístico a los datos obtenidos en el mesocarpio fibroso de canangucha.*

**Tabla ANOVA para % de Rendimiento de pectina por tiempo de extracción (min).**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	54,2464	5	10,8493	534,89	<0,05
Intra grupos	0,243397	12	0,0202831		
Total (corregido)	54,4898	17			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Rendimiento de pectina entre un nivel de tiempo de extracción (min) y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla ANOVA para Rendimiento de pectina por potencia (W).**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	28,1946	5	5,63891	79,82	<0,05
Intra grupos	0,84779	12	0,0706492		
Total (Corregido)	29,0424	17			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Rendimiento de pectina entre un nivel de potencia y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla ANOVA para Rendimiento de pectina por pH.**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	5,95284	5	1,19057	11,34	0,0003
Intra grupos	1,2601	12	0,105009		
Total (Corregido)	7,21295	17			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Rendimiento de pectina entre un nivel de pH y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla ANOVA para % Rendimiento de pectina por relación sólido (g) :solvente (mL).**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	10,064	5	2,0128	9,14	0,0009
Intra grupos	2,64192	12	0,22016		
Total (Corregido)	12,7059	17			

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % Rendimiento de pectina entre un nivel de relación muestra:solución extractante y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

➤ **Análisis estadístico a los datos obtenidos en la cáscara de cocona**

**Tabla ANOVA para % Rendimiento de pectina por tiempo de extracción (min).**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	112,708	5	22,5416	123,59	<0,05
Intra grupos	2,18864	12	0,182387		
Total (Corregido)	114,897	17			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % Rendimiento de pectina entre un nivel de tiempo de extracción (min) y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla ANOVA para % Rendimiento de pectina por potencia.**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	92,5454	5	18,5091	172,98	<0,05
Intra grupos	1,28401	12	0,107		
Total (Corregido)	93,8294	17			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % Rendimiento de pectina entre un nivel de potencia y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla ANOVA para % Rendimiento de pectina por pH.**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	49,7135	5	9,94269	57,60	<0,05
Intra grupos	2,07147	12	0,172623		
Total (Corregido)	51,7849	17			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % Rendimiento de pectina entre un nivel de pH y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla ANOVA para % Rendimiento de pectina por relación sólido (g) :solvente (mL).**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	11,1899	5	2,23799	22,24	<0,05
Intra grupos	1,20761	12	0,100634		
Total (Corr.)	12,3976	17			

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de % Rendimiento de pectina entre un nivel de relación muestra: solución y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.



## Anexo C: Análisis estadístico a los resultados obtenidos utilizando el diseño experimental de Taguchi

- *Análisis a los datos obtenidos en la extracción asistida por microondas de pectina del mesocarpio fibroso de canangucha*

### Análisis de Varianza para Rendimiento (%) - Suma de Cuadrados Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Potencia (W)	9,77631	3	3,25877	126,66	<0,05
B:pH	22,6644	3	7,55481	293,64	<0,05
C:Relación M(g):S(mL)	1,41577	3	0,471922	18,34	<0,05
D:Tiempo (min)	13,7525	3	4,58418	178,18	<0,05
RESIDUOS	0,900495	35	0,0257284		
TOTAL (CORREGIDO)	48,5095	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual. Puesto que 4 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre rendimiento con un 95,0% de nivel de confianza.

### Pruebas de Múltiple Rangos para rendimiento (%) por Potencia (W).

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Potencia (W)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
440	12	3,9485	0,0463037	a
550	12	4,62333	0,0463037	b
660	12	4,91083	0,0463037	c
880	12	5,15417	0,0463037	d

Existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles con letras diferentes, con un 95% de confianza.

**Pruebas de Múltiple Rangos para Rendimiento (%) por pH**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>pH</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2,5	12	3,492	0,0463037	a
1,5	12	4,889	0,0463037	b
1	12	4,99725	0,0463037	b
2	12	5,25858	0,0463037	c

Existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles con letras diferentes, con un 95% de confianza.

**Pruebas de Múltiple Rangos para Rendimiento (%) por Relación soluto (g): Solvente (mL)**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Relación M:S (g/mL)</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
10	12	4,41467	0,0463037	a
15	12	4,58975	0,0463037	a
20	12	4,77117	0,0463037	b
25	12	4,86125	0,0463037	b

Existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles con letras diferentes, con un 95% de confianza.

**Pruebas de Múltiple Rangos para Rendimiento (%) por Tiempo (min)**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
12	12	3,91383	0,0463037	a
15	12	4,46608	0,0463037	b
18	12	4,891	0,0463037	c
21	12	5,36592	0,0463037	d

Existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles con letras diferentes, con un 95% de confianza.

➤ **Análisis a los datos obtenidos en la extracción asistida por microondas de pectina de la cáscara de cocona**

**Análisis de Varianza para Rendimiento - Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Potencia	24,7447	3	8,24824	66,93	<0,05
B:pH	20,5423	3	6,84744	55,57	<0,05
C:RSS	0,33032	3	0,110107	0,89	0,4542
D:Tiempo	68,9398	3	22,9799	186,48	<0,05
RESIDUOS	4,31312	35	0,123232		
TOTAL (CORREGIDO)	118,87	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual. La relación sólido:líquido, es la una única variable que no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el Rendimiento con un 95,0% de nivel de confianza.

**Pruebas de Múltiple Rangos para Rendimiento por Potencia**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Potencia</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
440	12	9,82492	0,101338	a
550	12	10,4123	0,101338	b
660	12	10,4413	0,101338	b
880	12	11,784	0,101338	c

Existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles con letras diferentes, con un nivel del 95% de confianza.

**Pruebas de Múltiple Rangos para Rendimiento por pH**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>pH</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2,5	12	9,53208	0,101338	a
1,5	12	10,6793	0,101338	b
2	12	11,0428	0,101338	bc
1	12	11,2083	0,101338	c

Existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles con letras diferentes, con un nivel del 95% de confianza.

**Pruebas de Múltiple Rangos para Rendimiento por Tiempo**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	12	8,80325	0,101338	a
9	12	10,3927	0,101338	b
12	12	11,2214	0,101338	c
15	12	12,0452	0,101338	d

Existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles con letras diferentes, con un nivel del 95% de confianza.

# Anexo D: Socialización de resultados

## PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

- **II Congreso Internacional de Investigación e Innovación en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de alimentos.** Medellín, Colombia del 27 al 30 de Mayo de 2014. Título: Extracción asistida por microondas de pectina empleando cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis*). Participante en la modalidad poster.



- **International Phytocosmetic Congress 2015.** Bogotá-Colombia, 16-19 de Marzo de 2015. Título: "Physicochemical characterization and pectin content evaluation of Colombian Amazonic Fruits". Participante en la modalidad ponente.



- **III Congreso Internacional en Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de alimentos.** Bogotá-Colombia, 2-4 de Noviembre de 2016. Título: Efecto de algunos factores en la extracción asistida por microondas de pectina de frutos amazónicos. Participante en la modalidad ponente.



**PUBLICACIONES**

- Luis Eduardo Mosquera Narváez, Diana Edith Molina Soler, Rafael Humberto Gutiérrez Bravo y María Soledad Hernández Gómez. 2014. Extracción asistida por microondas de pectina empleando cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 67 (2), suplemento II: 1216-1218.

**Extracción Asistida por Microondas de Pectina  
Empleando Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis*)**

*Microwave-assisted Extraction of Pectins From Passion Fruit Peel (*Passiflora edulis*)*

Luis Eduardo Mosquera Narváez<sup>1</sup>, Diana Edith Molina Soler<sup>2</sup>, Rafael Humberto Gutiérrez Bravo<sup>3</sup>, María Soledad Hernández Gómez<sup>1,4</sup>

**Resumen.** El estudio tuvo como objetivo la extracción asistida por microondas (EAM) de corteza de maracuyá. Las condiciones

<sup>1</sup> Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Laboratorio de uso y aprovechamiento de la biodiversidad, Calle 20 No. 5-44, sede Bogotá, Colombia. lemosqueras@unal.edu.co, shernandez@sinchi.org.c

<sup>2</sup> Ingeniera de alimentos, Estudiante de Maestría de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. demolinas@unal.edu.co

<sup>3</sup> Profesor, Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

<sup>4</sup> Profesor, Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos ICTA, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

- Diana E. Molina Soler, Rafael H. Gutiérrez Bravo y María S. Hernández Gómez. 2016. Efecto de algunos factores en la extracción asistida por microondas de pectina de frutos amazónicos. *Agronomía Colombiana Suplemento* Vol. 1.





## Bibliografía

CEPAL y Patrimonio Natural. 2013. Amazonia posible y sostenible. Coediciones CEPAL, Patrimonio Natural. 256p

Chen, Q.; Hu, Z.; Yao, F. Y.-D. y Liang, H. 2016. Study od two-stage microwave extraction of essential oil and pectin from pomelo peels. LWT- Food Science and Technology 66: 538-545.

DANE. 2012. Pobreza en Colombia. Comunicado de prensa del 17de Mayo de 2012. Fecha de consulta. 20 de Agosto de 2016. Disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones\\_vida/pobreza/cp\\_pobreza\\_2011.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/cp_pobreza_2011.pdf)

Ferreira, Salomón. 2007. Pectinas: Aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial. Primera edición. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, Proceditor Ltda, 186p

García, C. y Penagos, G., C. E. 2011. El entorno comercial de la pectina en la industria alimentaria antioqueña. Envigado. 100h. Trabajo de grado (Ingeniería Administrativa). Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Guo, X.; Han, D.; Xi, H.; Rao, L.; Liao, X.; Hu, X. y Wu, J. 2012. Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A Comparison. Carbohydrate Polymers 88: 441-448.

Gutiérrez, F.; Acosta, L y Salazar, C. 2004. Perfiles urbanos en la Amazonia Colombiana: un enfoque para el desarrollo sostenible. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. 260p.

Herrera, Y. M. 2013. Microencapsulación de compuestos con poder antioxidante extraídos a partir de semillas sin fermentar de *Theobroma cacao* y *Theobroma grandiflorum*. 88p. Trabajo de grado (Maestría en Ciencia y Tecnología de alimentos). Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Facultad de Ciencias. Disponible en la Biblioteca digital de la Universidad Nacional de Colombia.<http://www.bdigital.unal.edu.co/39585/1/01107529.2013.pdf>

Hosseini, S. S.; Khodaiyan, F. y Yarmand, M. S. 2016. Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate polymers* 140: 59-65.

Kulkarni, S.G. y Vijayanand, P. 2010. Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT-Food Science and Technology* 43 (7): 1026 – 1031.

Peng, X.-Y.; Mu, T.-H.; Zhang, M.; Sun, H.-N.; Chen, J.-W. y Yu, M. 2016. Effects of pH and high hydrostatic pressure on the structural and rheological properties of sugar beet pectin. *Food Hydrocolloids* 60: 161-169.

Seixas; F. L.; Fukuda, D. L.; Turbiani, F. R. B.; Garcia, P. S.; Petkowick, C. L de O.; Jagadevan. S. y Gimenes, M. L. 2014. Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) by microwave – induced heating. *Food hydrocolloids* 38: 186-192.

Vasquez, R.; Ruesga, L.; D'Addosio, R.; Paéz, G. y Marín, M. 2008. Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB*, subgrupo plátano) clon Hartón. *Revista Facultad de Agronomía* 25: 318-333.

Wang, H.; Ding, J. y Ren, N. 2016. Recent advances in microwave-assisted extraction of trace organic pollutants from food and environmental samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 75: 197-208.

Wicker, L.; Kim, Y.; Kim, M.-J.; Thirkield, B.; Lin, Z. y Jung, J. 2014. Pectin as a bioactive polysaccharide – Extracting tailored function from less. *Food hydrocolloids* 42: 251-259.

Willats, W. G. T; Knox, J. P. y Mikkelsen, J. D. 2006. Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science & Technology* 17 (3): 97-104.

Zhang, H.-F.; Yang, X.-H. y Wang, Y. 2011. Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: Current status and future directions. *Trends in Food Science & Technology* 22 (12): 672-688.