

**OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE BADEA
(*Passiflora quadrangularis*) POR EL MÉTODO ASISTIDO POR MICROONDAS**

ANGY PAOLA MURILLO ATENCIO

MARIANA FERNANDEZ RUIZ

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

SEDE BERÁSTEGUI

2020

**OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE BADEA
(*Passiflora quadrangularis*) POR EL MÉTODO ASISTIDO POR MICROONDAS**

**ANGY PAOLA MURILLO ATENCIO
MARIANA FERNÁNDEZ RUÍZ**

Informe final para optar el título de INGENIERO DE ALIMENTOS

DIRECTORES

**FABIÁN ALBERTO ORTEGA QUINTANA, Ph.D.
GABRIEL IGNACIO VÉLEZ HERNÁNDEZ, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SEDE BERÁSTEGUI**

2020

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del
proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del Consejo Superior.

Nota de aceptación

Firma del jurado
PEDRO ELIAS ROMERO BÁRRAGAN

Firma del jurado
GUILLERMO ARRAZOLA PATERNINA

Dedico este logro obtenido principalmente a Dios porque sin él nada somos, por regalarme la vida, fortaleza y sabiduría para poder cumplir todos mis propósitos.

A mis padres por ser mi motivación a seguir adelante, por todo su esfuerzo y dedicación para realizar mis sueños y convertirme en una profesional, gracias por su compañía incondicional.

A Fredy Henriquez Hernández el otro padre que me regaló la vida muchas gracias por sus consejos para ser una gran persona.

A mis hermanos gracias por la comprensión y el apoyo.

A mi compañera y amiga Mariana Fernández gracias por ser mi compañera de batallas por empezar y terminar conmigo este camino.

A Víctor Blanco gracias por motivarme a ser mejor persona por estar conmigo en este proceso, por regalarme su tiempo y buenos consejos.

A mis amigos de la carrera, mis V.I.P. coincidir con ustedes es el mejor regalo de la vida.

Gracias a todas las personas que participaron este proceso, que me acompañaron y me guiaron en mi formación profesional.

ANGY PAOLA MURILLO ATENCIO

Primero que todo quiero darle gracias Dios por permitirme llegar a esta etapa del camino, sin el nada fuera posible.

Este logro quiero dedicárselo primeramente a una de las personas que más amo, a el señor Mariano Fernández mi abuelo que soñaba con verme hecha una ingeniera y sé que desde el cielo está feliz porque ya estoy llegando a la meta, a mis padres Luz Elena Ruiz y Fernando Fernández por todo el esfuerzo que han hecho por verme llegar hasta aquí, gracias por entregar todo por nosotros, a mi abuela Ignacia Villadiego que siempre me ha deseado lo mejor y se ha preocupado por mi bienestar, gracias familia por ser mi apoyo incondicional.

A mi compañera y amiga de batalla Angie murillo por llegar hasta aquí conmigo, por lograr esto juntas.

A Iván Contreras por motivarme a ser mejor profesional, mejor persona, gracias por acompañarme en este camino

*A todos los que fueron parte de este proceso, amigos, compañeros resto de familiares
Gracias por tanto.*

MARJANA FERNANDEZ RUIZ

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este trabajo a Dios que fue nuestro guía en este proyecto, por ayudarnos a conseguir uno de los más anhelados logros.

A nuestros familiares y amigos por su apoyo incondicional y consejos que nos han ayudado en nuestro crecimiento personal.

A nuestros profesores Fabián Ortega y Gabriel Vélez por su orientación y enorme dedicación en la realización de este proyecto.

A nuestros Amigos V.I.P. por dejarnos sembradas en nuestras mentes y corazones las mejores vivencias.

Al auxiliar de laboratorio German por su colaboración y amabilidad en este proyecto Y a todos los profesores que hicieron parte de la formación que hoy en día nos acompaña.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA BADEA	17
1.1.2. Taxonomía	17
1.1.3. Origen y Localización.....	18
1.1.4. Composición Nutricional	18
1.1.5. Variedades.....	19
1.1.6. Usos y Mercado	19
1.2. PECTINAS.....	20
1.2.1. Tipos de Pectina.....	21
1.2.2. Usos y Aplicaciones de las pectinas.	22
1.3. EXTRACCIÓN DE PECTINA ASISTIDA POR MICROONDAS	22
1.4. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	23
2. MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	26
2.2. UNIVERSO DE ESTUDIO	26
2.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	26
2.4. VARIABLES.....	27
2.4.1. Variables independientes.	27
2.5. PROCEDIMIENTO	28
2.5.1. Acondicionamiento de la materia prima y extracción por microondas.....	28
2.5.2. Determinación del rendimiento de la pectina y contenido de Metoxilo	29
2.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	29
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1. EXTRACCIÓN DE PECTINA	31

3.2. RENDIMIENTO DE LA PECTINA.....	33
3.3. CONTENIDO DE METOXILO	34
4. CONCLUSIONES	36
5. RECOMENDACIONES.....	37
6. BIBLIOGRAFIA	38
ANEXOS	44

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica de la badea.....	17
Tabla 2. Composición nutricional de la badea.....	18
Tabla 3. Factores y niveles del experimento.....	27

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Diseño de la Metodología de Superficie de respuesta	24
Figura 2. Diagrama de la extracción de pectina	28
Figura 3. Datos del modelo predictivo con respecto a datos experimentales.	33

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Esquema del equipo utilizado para la extracción de pectina (Adaptado de Wang et al., 2007).....	44
Anexo B. Tabla 4. Análisis de Varianza ANOVA.....	45
Anexo C. Tabla 5. Variables de mayor influencia en el rendimiento de pectina.....	45
Anexo D. Efecto de las variables sobre el rendimiento de pectina.....	46
Anexo E. Extracto de pectina a partir de badea.	46
Anexo F. Figura 4. Gráfico de contorno sobre las variables de rendimiento.....	47
Anexo G. Tabla 6. Resumen estadístico del modelo para la variable respuesta.....	47

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la extracción de pectina por el método de hidrólisis en medio ácido asistida por microondas (EAM) para la extracción de pectina de la cáscara de la badea (*Passiflora Quadrangularis*) teniendo en cuenta las variables de tiempo de exposición de microondas, potencia del microondas (W) y concentración de la solución de ácido clorhídrico (HCl). Para el análisis estadístico se empleó un diseño completamente aleatorizado (CDA) con arreglo factorial 2^3 , con cinco repeticiones en el centro y se realizó un estudio de análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 5%. Se analizaron los datos a través del software estadístico DESING EXPERT versión 6 utilizando la metodología Superficie de Respuesta obteniendo que el mayor tratamiento se dio a las condiciones más altas, es decir, para un tiempo de 200 segundos, potencia 1000 W y concentración de la solución de HCl 0,36 eq/L. El rendimiento obtenido con el mejor tratamiento fue del 41,06% de pectina en base húmeda. El porcentaje del contenido de metoxilo fue del 6,20% que la clasifica como pectina de bajo metoxilo.

Palabras claves: microondas, extracción, pectina, metoxilo.

ABSTRACT

In the present work, the pectin extraction was carried out by the microwave-assisted acid hydrolysis method (MAE) for the extraction of pectin from the shell of the badea (*Passiflora quadrangularis*), taking into account the variables of microwave exposure time, microwave power (W) and concentration of the hydrochloric acid (HCl) solution. For the statistical analysis, a completely randomized design (CRD) with a 2^3 factorial arrangement was used, with five repetitions in the center, and an analysis of variance (ANOVA) was performed with a significance level of 5%. The data were analyzed through the statistical package DESING EXPERT version VI and with the Response Surface methodology, obtaining that the best treatment was a time of 200 seconds, power 1000 Watts and concentration of the HCl solution 0.36 eq/L. The yield obtained with the best treatment was 41.06% pectin on wet basis. The percentage of methoxy content was 6.35% which classifies it as low methoxy pectin.

Key words: microwave, extraction, pectin, methoxy.

INTRODUCCIÓN

La badea (*Pasiflora Quadrangularis*) es caracterizada por ser un fruto proveniente de zonas tropicales y subtropicales. Según el Ministerio de Agricultura, la siembra de badea es efectuada en un 100% en el departamento de Huila principalmente en los municipios de Neiva, Gigante, Paicol, Agrado y Pital (MínAgricultura, 2012). Este fruto presenta altos contenidos de fibra dietaria (FD) con lo cual se convierte en un fruto favorable para las diferentes industrias alimentarias, farmacéuticas y cosméticas (Willats et al. 2006).

La FD es un conjunto complejo de polisacáridos dentro de las cuales se destacan las sustancias pécticas que se encuentran distribuidas en las paredes celulares de las plantas cumpliendo funciones de crecimiento y desarrollo (Willats et al. 2006). Las pectinas son moléculas complejas formadas por polisacáridos, encontrando unidades de ácido galacturónico esterificados o no por grupos metoxilos. Según la FDA (Administración de Medicamentos y Alimentos de los EE.UU) el uso de pectinas en alimentos ha sido reconocido como seguro, por lo que su aplicación como agente gelificante, espesante y estabilizante se ha ampliado en las diferentes industrias como la alimentaria y cosmética; en el caso de la industria farmacéutica esta aprovecha sus propiedades hidrocoloidales, terapéuticas y de aumento en la acción de los principios activos, y en la industria del plástico se utiliza en la fabricación de productos espumantes, como agentes de clarificación y aglutinantes, actualmente se sigue investigando nuevas alternativas de usos (Barazarte et al. 2008)(Sangoris et al.2014). Por otro lado, las pectinas se encuentran clasificadas, según su grado de esterificación, como de mayor contenido metoxilo y menor contenido metoxilo. Las pectinas de mayor contenido metoxilo pueden formar geles en soluciones de sacarosa o sorbitol a concentraciones entre 55 y 57%, y pH entre 2,0 - 3,5 mientras que las de bajo metoxilo gelifican en el rango de pH 2,0-6,0, en ausencia de

concentraciones altas de sacarosa, pero con la adición de iones divalentes como el calcio (Canteri et al. 2012).

La variedad de *pasifloraceas* ha sido utilizada como fuentes alternativas de extracción de sustancias pécticas. La badea debido a su composición nutricional 100g (sin discriminar el epicarpio) presenta un 0,08% de grasa total, 0,63% de proteína total, 13,225 de carbohidratos totales y 7,98% de fibra dietaria total (Carvajal et al. 2014). El epicarpio y mesocarpio presentan, en este caso, mayor proporción empleándose para obtención de pectina como producto de una aplicación peculiar, ya que, generalmente, este fruto se usa para consumo en fresco (Lim, 2012). Así mismo, debido a los múltiples beneficios de la pectina y sus aplicaciones en la industria (Schieber et al. 2001) recientemente se han investigado fuentes no tradicionales para su extracción, siendo una alternativa para convertir gran material de desecho de la industria alimentaria en un insumo que aporte alta funcionalidad en otras industrias (Vriesmann et al. 2011).

Dentro de la extracción de pectinas se han empleado diversas técnicas que van desde escala laboratorio hasta métodos industriales; la extracción asistida por microondas (EAM) es una tecnología que ha tenido un gran auge en las diferentes investigaciones debido a la importancia e interés que presenta en las variables de tiempo de extracción y temperaturas las cuales definen el rendimiento y calidad de las pectinas (Seixas et al. 2014). Este método se basa en el uso de la energía de microondas para conseguir que los compuestos de interés pasen de la muestra a un disolvente adecuado.

En el presente trabajo se utilizó la metodología de superficie de respuesta con el objetivo de optimizar el rendimiento y evaluar el efecto de las variables tiempo de exposición, potencia del microondas y concentración de Ácido Clorhídrico (HCl) que intervienen en la EAM para la extracción de pectina a partir del epicarpio de la badea.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA BADEA

1.1.1. Botánica

La badea (*Passiflora Quadrangularis*) debe el nombre de la especie a su tallo de cuatro lados o cuadrángula, con excepción de la base que, con el tiempo se vuelve fistuloso, posee zarcillos axilares enredados en espiral o envueltos en los soportes que encuentra, también posee hojas enteras que miden de 10 a 25 cm de largo y de 7 a 15 cm de ancho, de pecíolos largos y limbo ancho, su forma es elípticas u orbiculares con estipulas bien definidas, flores solitarias de 10 a 12 cm cuando están abiertas completamente, pétalos punteados de rojo en el centro y blanco amarillento en el ápice, ovario de color amarillo claro o verde pálido con pedúnculo corto y 3 brácteas (Vanderplanck, 1991; Yoctkteng et al., 2011).

1.1.2. Taxonomía

Clasificación taxonómica de la badea (*Passiflora quadrangularis L.*) en el reino vegetal.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la badea.

<i>Reino</i>	Vegetal
Clase	Angiosperma
<i>Subclase</i>	Dicotiledónea
Orden	Parietal
<i>Familia</i>	<i>Passifloracea</i>
<i>Género</i>	Passiflora
Especie	<i>Passiflora quadrangularis L.</i>

Fuente: Feulliet y MacDougal 2003.

1.1.3. Origen y Localización

Es originaria de América tropical y subtropical, especialmente de Colombia, Venezuela, Perú, Jamaica (Akanime, 1994). En Colombia se determinó un área total correspondiente a 58 hectáreas de badea sembrada, obteniendo un rendimiento para ese mismo año de 15035 toneladas de fruta por cada hectárea (Ordoñez et al., 2009).

La familia de la badea comprende alrededor de unas 400 especies en todo el mundo, siendo la badea una de las más interesantes por sus excelentes propiedades como alimento y sus posibles usos en la medicina. Esta fruta recibe diferentes nombres a nivel nacional como internacional, de las cuales se destaca como Tumb (Perú), parcha (Venezuela), maracuyá melao (Brasil) y granadilla gigante (USA), (Vanderplanck, 1991 MacDougal & Feuillet, 2004; Yoctkteng et al., 2011)

1.1.4. Composición Nutricional

En la Tabla 2 se muestra el análisis químico de la badea en 100 g de parte comestible, refiriendo solamente la parte interna, formada por el líquido y el arilo. (Sin incluir la pulpa o cáscara gruesa del fruto).

Tabla 2. Composición nutricional de la badea.

Componentes	g/100g	Otros componentes	mg/100
Agua	87.9	Calcio	10
Proteína	0.90	Fosforo	22
Grasas	0.20	Hierro	0.60
Carbohidratos	10.10	Vitamina A	70 UI
Cenizas	0.90	Ácido Ascórbico	20
		Riboflavina	0.11
		Niacina	2.7

Fuente: Frutas, Hortalizas y Tubérculos, Perspectivas de Agroindustrialización, Arrázola, 2004.

1.1.5. Variedades

Se pueden distinguir fácilmente dos variedades: la del Chocó y la gigante, la primera se distingue por ser un fruto relativamente pequeño, de 10 a 15 cm de largo y de 7 a 8 cm de diámetro, pulpa delgada de 0,8 a 1,5 cm y follaje escaso. La variedad se llama gigante por su gran desarrollo y porque tiene las características ya descritas anteriormente, pero en términos generales, las diferencias en tamaño especialmente no determinan barreras comerciales o de preferencia para una variedad, el mercado nacional los acepta indistintamente, pero es posible que en el exterior tenga más acogida la del Chocó por su mayor concentración de azúcar, menos cáscara y por consiguiente alto contenido de Jugo. (Arzeni, 1992).

La badea se caracteriza porque contiene un aroma especial, su pulpa constituida por semillas provista de un arilo superficial, contiene un sabor agridulce, con un aroma agradable, se consume en fresco en toda la costa de Colombia y los frutos pertenecientes a esta familia son utilizados en platos y pasabocas (Arrázola, 2004).

1.1.6. Usos y Mercado

El arilo y el mesocarpio de la badea se usan para bebidas y también para hacer dulces, jaleas y tortas. Los frutos inmaduros se hierven y se consumen como verdura. De este fruto tanto el mesocarpio como el epicarpio se encuentran en mayor proporción y pueden ser aprovechado para la extracción de pectina y así obtener rendimientos y calidad de pectina comparables con la pectina comercial, dado que se han reportado extracciones de pectinas pertenecientes al género pasiflora (León, 1987). Es un alimento energético que aporta minerales, particularmente hierro, calcio, fósforo, niacina y vitaminas A y C (Otzoy, et al., 2003).

La Badea (*P. Quadrangularis*) contiene un gran porcentaje de serotonina que contribuye al buen funcionamiento del sistema nervioso, también alivia problemas como la ansiedad, el insomnio, la obesidad y fuertes dolores de cabeza (migrañas). Este fruto contiene grandes cantidades de vitamina E, esencial para mantener y cuidar la piel y mejorar el

funcionamiento del aparato digestivo; la gran cantidad de hierro ayuda a combatir enfermedades como la anemia, así como la vitamina A ayuda a prevenirla; ideal para que sea consumida por los niños, ya que su carne tiene calcio, que protege y fortalece sus huesos. Su contenido de fósforo contribuye con un buen desarrollo mental, también posee en menor cantidad la vitamina C, que previene resfriados y gripes (Galarraga, 2013 citado por Salazar et al. 2015).

1.2.PECTINAS

Las pectinas son un grupo complejo de heteropolisacáridos estructurales que contienen sobre todo unidades de ácido galacturónico. Estos compuestos están presentes en las paredes celulares primarias y en la laminilla media de las células parenquimáticas de muchas plantas, donde están frecuentemente asociadas con otros componentes de la pared celular, tales como la celulosa, hemicelulosa y la lignina, y son responsables de la firmeza de algunos productos. La disolución de los componentes de dicha pared celular sobre todo de las pectinas, se ha relacionado con el ablandamiento de diversas especies vegetales (Zhongdong et al. 2006).

Las pectinas están formadas fundamentalmente por largas cadenas de unidades de ácido galacturónico, que puede encontrarse con el grupo carboxilo libre o bien con el carboxilo esterificado por metanol. Las pectinas se obtienen de materiales vegetales que tienen un alto contenido de éstas, tales como manzanas, frutas cítricas, piña, guayaba dulce, tomate de árbol, maracuyá y remolacha. Los subproductos de la industria de zumos de frutas bagazo de manzanas y albedos de cítricos (limón, limón verde, naranja, toronja) constituyen básicamente las fuentes industriales de pectinas (Rojas et al., 2008).

1.2.1. Tipos de Pectina

Las pectinas según el número de grupo carboxílico, grado de esterificación o contenido de metoxilo se encuentran distinguidas en dos grupos principales: los ácidos pectínicos, que poseen una pequeña proporción de ácido galacturónico capaces de formar geles si las condiciones de sólidos solubles y pH son adecuadas (Kertesz, 1951). También se encuentran los ácidos pécticos, los cuales solo presentan moléculas de ácido galacturónico libre de esterificación o bien grupo carboxílico no esterificado. De este modo las pectinas son ácidos pectínicos con diferentes grados de esterificación con la principal característica de formar geles, y contener de 200 a 1000 unidades de ácido galacturónico (Calvo, 2006).

Las pectinas de las frutas, y en general de los materiales vegetales, varían en el contenido de metoxilo y poder de gelificación, así como también en la presencia y las posiciones de otros grupos químicos como amidas y metoxilo. El contenido de metoxilo en las pectinas comerciales se encuentra entre el 8 y el 11% y forman geles con un contenido de 65% de sólidos solubles (expresados como azúcar). También varían en la longitud de la cadena y los elementos involucrados en su estructura lo cual compromete su capacidad de fluir. Desde el punto de vista del contenido de metoxilo, es decir, del número de grupos carboxilos esterificados con metanol se distinguen dos tipos: pectinas de alto metoxilo y pectinas de bajo metoxilo (Ferreira, 2007).

Las pectinas de alto metoxilo son aquellas en las cuales más del 50% de los grupos carboxilos del ácido galacturónico del polímero se encuentra esterificado con metanol. El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades, en particular a mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación. Estas pectinas son capaces de formar geles en condiciones de pH entre 2.8 y 3.5 y un contenido de sólidos solubles (azúcar) entre 60% y 70% (Rankes, 1984). Por su parte, las pectinas con bajo metoxilo presentan menos del 50% de los grupos hidroxilo esterificados con metanol. Para la formación del gel requieren la presencia de cationes divalente, generalmente se emplea calcio. En éste caso la formación del gel ocurre por la formación de enlaces de dichos cationes con moléculas de pectina, formando una red

tridimensional con los grupos carboxilo de ésta. Los geles se obtienen entre pH 1,0 a 7,0; el pH no afecta la textura del gel ni el intervalo de sólidos solubles y puede fluctuar entre 0 y 80% pero la presencia de calcio (40 a 100mg) es el factor predominante en la formación del gel (Huiy, 1996).

1.2.2. Usos y Aplicaciones de las pectinas.

En la industria de alimentos las pectinas tienen aplicación en la fabricación de compotas y mermeladas, así mismo por su capacidad gelificante permite utilizarse en elaboración de pudines; por su viscosidad en bebidas y como agente estabilizante en helados, controlando el tamaño del cristal. La gelatina ha sido la base tradicional para los postres de jaleas, estas se formulan con pectinas amidadas de bajo metoxilo que proporciona la textura y el punto de congelación adecuados (Jordi, 1996) y en soluciones que permiten recubrir salchichas y carnes enlatadas (Zhongdong et al. 2006).

En la industria farmacéutica la pectina es utilizada debido a sus propiedades hidrocoloides y terapéuticas. Sus usos son cada vez más variados entre estos encuentra su uso astringente y efectos curativos por medio de preparación de ungüentos, en medicamentos se utiliza para recubrir capsulas de medicamentos protegiendo la mucosa gástrica (Abzueta et al. 2012).

1.3.EXTRACCIÓN DE PECTINA ASISTIDA POR MICROONDAS

La extracción asistida por microondas es un método empleado para la obtención de pectina, existen reportes de su aplicación en cáscara de naranja (Fishman et al. 2000; Kratchanova et al. 2004; Liu et al. 2006), pulpa de remolacha azucarera (Fishman et al. 2008) y pomaza de manzana (Wang et al. 2007). La EAM presenta como principio colocar la materia prima en contacto directo con el disolvente, seguidamente la materia prima es irradiada por el microondas donde se produce una conversión de energía calórica que a su vez genera un aumento de temperatura dentro de la materia prima (Álvarez et al. 2012).

Este tipo de técnica tiene como principal ventaja la disminución de tiempo de extracción con respecto al método convencional. De esta manera mientras en el método convencional se invierten tiempos largos de aproximadamente una hora, en la extracción con microondas se requieren aproximadamente de tres a diez minutos (Fishman et al., 2000). Esta reducción de tiempo también tiene un efecto en la calidad de la pectina ya que a periodos de extracción largos se ha observado una degradación de la molécula de pectina (Fishman et al. 2000; Fishman et al. 2008).

El rendimiento obtenido por microondas presenta mejoras con respecto al método convencional (Fishman et al. 2008). Investigadores que han estudiado el efecto del pre-tratamiento con microondas sobre el rendimiento en la extracción de pectina, atribuyen que la mejora se debe a un aumento en la capilaridad (creación de espacios porosos) y en consecuencia un aumento en la capacidad de absorción de agua del material vegetal. Así mismo las altas temperaturas involucradas en el pre-tratamiento con microondas inhibe la actividad de la pectinesterasa, la cual es una enzima que disminuye el grado de metilesterificación de la pectina antes de la extracción (Liu et al. 2006). Todas estas características de la tecnología de microondas hacen posible mejorar los rendimientos, masa molar y fuerza de gel de la pectina extraída. Las condiciones del disolvente utilizado, la temperatura, el tiempo, la potencia utilizada son parámetros que afectan en gran medida la eficacia de la extracción. La temperatura aumenta la difusividad de los analitos del disolvente permitiendo el calentamiento en la materia prima, la cantidad de energía aplicada puede producir un calentamiento excesivo de la muestra que sumado a tiempo de extracción prolongado conduce a la degradación de compuestos termolábiles (Álvarez et al.2012).

1.4. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

En algunas ocasiones hay experimentos con los que no se obtienen las respuestas buscadas por lo que es necesario experimentar de manera secuencial hasta encontrar el nivel de mejoras deseado. En este caso, después de una primera etapa experimental quizá sea necesario desplazar la región experimental (moverse de lugar) en una dirección

adecuada, o bien, explorar en forma más detallada la región experimental inicial. La forma de realizar ambas cosas es parte de la llamada metodología de Superficie de Respuesta (MSR).

La MSR es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características de calidad del producto (Gutiérrez y De la vara, 2008).

Normalmente la metodología de superficie de respuesta se representa como se muestra en la Figura 1, en donde se relaciona la variable dependiente con los diferentes niveles (X_1 , X_2 , X_3 , X_n).

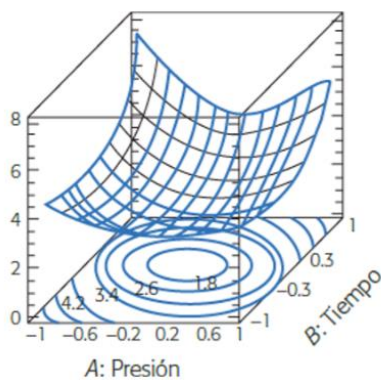


Figura 1. Diseño de la Metodología de Superficie de respuesta.

En la MSR Una vez que se tiene el modelo debidamente ajustado y validado se procede a explorar la superficie descrita por el modelo para encontrar la combinación de niveles en los factores que dan por resultado un valor óptimo de la respuesta, o bien, para determinar la dirección óptima de movimiento en la que se debe experimentar en el futuro. Si el modelo no explica un mínimo de 70% del comportamiento de la respuesta, en términos del R^2 , no se recomienda utilizarlo para fines de optimización porque su calidad de predicción es mala. En adelante supondremos niveles codificados para los factores (-1, +1), lo cual facilita las interpretaciones y los cálculos. Por lo que siempre que se encuentren las condiciones óptimas o la dirección de experimentación futura, primero se

hará en condiciones codificadas y después eso se debe traducir a condiciones o niveles reales. Aunque el uso de un software puede evitar el uso de códigos.

La técnica de optimización a utilizar depende del tipo de modelo ajustado y existen básicamente tres métodos, que son:

1. Escalamiento ascendente (o descendente).
2. Análisis canónico.
3. Análisis de cordillera.

El escalamiento ascendente es para el modelo de primer orden y las otras dos técnicas son para el modelo de segundo orden.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Alimentos y el laboratorio de Ingeniería Aplicada de la Universidad de Córdoba sede Berástegui, ubicada en el municipio de Ciénaga de Oro del departamento de Córdoba, Colombia, con una temperatura promedio de 36°C, humedad relativa de 80% y 20 m.s.n.m.

2.2. UNIVERSO DE ESTUDIO

Para la investigación se utilizó como materia prima la badea en estado pintón obtenida en el mercado público de Cereté (Córdoba).

2.3. MATERIALES Y EQUIPOS

Para la investigación fue necesario el uso de los siguientes materiales: Ácido clorhídrico (HCl) 6N, etanol al 99%, papel filtro, tela filtrante, montaje del equipo de extracción por microondas (Martínez et al. 2016) (Anexo A), medidor de pH, estufa eléctrica, balanza analítica digital, agitador manual, tabla para cortar, cuchillas para los cortes, recipientes plásticos, beaker de 500 y 100, 50 ml, probeta de 100 ml y caja de Petri.

2.4.VARIABLES

2.4.1. Variables independientes.

En la Tabla 3 se muestran los factores y niveles utilizados en el experimento.

Tabla 3. Factores y niveles del experimento.

Factores	Niveles	
✓ Tiempo de extracción (Segundos).	Bajo 150	Alto 200
✓ Concentración de la solución de HCl (eq/L)	Bajo 0,29	Alto 0,36
✓ Potencia del microondas (W)	Bajo 800	Alto 1000

2.5. PROCEDIMIENTO

2.5.1. Acondicionamiento de la materia prima y extracción por microondas

A continuación, se muestra un diagrama que indica los pasos que se realizaron para extraer la pectina de la badea.

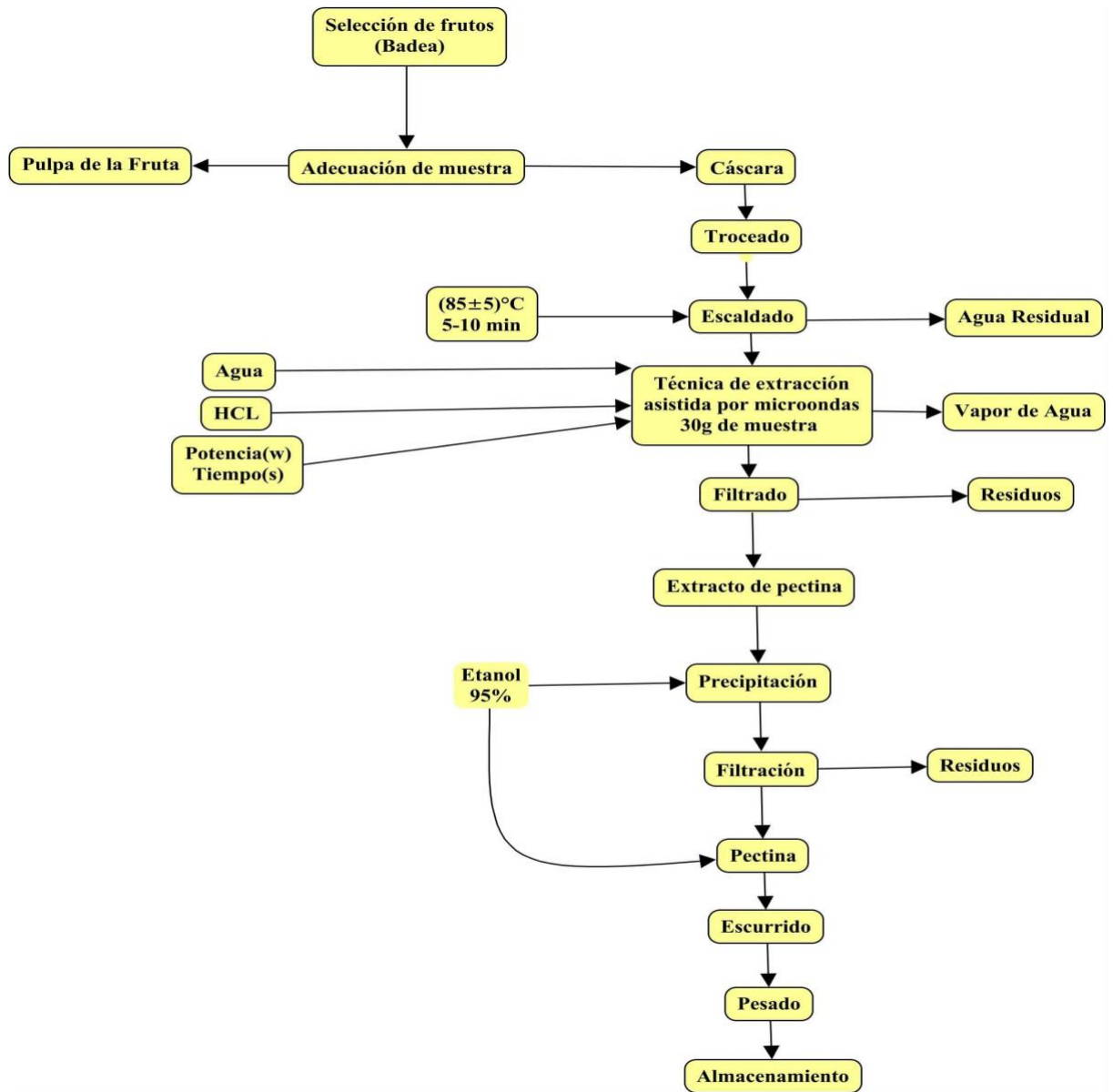


Fig. 2. Diagrama de la extracción de pectina.

2.5.2. Determinación del rendimiento de la pectina y contenido de Metoxilo

Para determinar el cálculo el porcentaje de rendimiento de la pectina extraída de la cáscara de badea se aplica la ecuación 1.

$$\%Rendimiento = \frac{Pectina\ pura\ húmeda\ (g)}{Peso\ de\ cáscara\ de\ badea\ utilizada(g)} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

El contenido de metoxilo se determinó utilizando un peso de pectina de 2g (% en Base húmeda), al cual se agregó hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1N y fenolftaleína como indicador para continuar con el proceso de titulación tomando como base hidróxido de Sodio al 0,1N. A partir de lo anterior se calcula el porcentaje de metoxilo con la ecuación 2.

$$\% Metoxilo = \frac{meq\ NaOH * PM\ de\ Metoxilo}{mg\ de\ pectina} x 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

2.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Utilizando un diseño de experimentos tipo factorial a través de la metodología de superficie de respuesta se evaluaron los efectos de las variables independientes con respecto a la variable de respuesta. Los datos fueron analizados a través del software Design Expert versión 6.

De acuerdo con la revisión de literatura realizada para la investigación se encontró estudios donde establecen las condiciones del mejor tratamiento del proceso de extracción de pectina asistida por microondas a partir de cáscara de maracuyá (Martínez et al. 2016) indicando que las variables tiempo de exposición, potencia de microondas y concentración de la solución son las que principalmente influyen en la obtención de mayores rendimientos de pectina. Por lo anterior, no fue necesario hacer el paso de cribado en el experimento.

Inicialmente se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2^3 con cinco repeticiones en el centro, recomendado por la literatura (Gutiérrez y De la vara, 2008). Se evaluaron los factores en dos niveles: Factor de tiempo, 150 y 200 segundos; Factor de concentración de HCl, 0.29, 0.36 eq/L; Factor potencia del microondas, 800 y 1000 W. Se obtuvo un diseño de primer orden con 13 unidades experimentales que permitió identificar de forma preliminar el comportamiento de la superficie y detectar la presencia de curvatura o detectar el cambio de tendencia por medio de la técnica de escalamiento ascendente. La curva de la tendencia fue útil para determinar el comportamiento de cada tratamiento a través del tiempo y estimar “valores óptimos”.

El análisis de varianza (ANOVA) de la MSR permitió evaluar si el modelo describe adecuadamente la superficie de respuesta real y además, si la ecuación polinómica sugerida es significativa, es decir, se determinó si hubo diferencias en el valor promedio de los tratamientos o bien que los factores causaron efectos apreciables en las respuestas. Se realizó un ajuste al modelo, y ya con el modelo ajustado se determinaron las condiciones óptimas de operación.

La eficiencia del modelo propuesto se evaluó teniendo en cuenta el coeficiente de determinación ajustada R^2_{adj} , que mide la proporción de la variación total alrededor de la media que puede ser explicada por el modelo, o de otro modo compara la variabilidad explicada por el modelo frente a la variación total, cuantificada a través de la suma de cuadrados (SC).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EXTRACCIÓN DE PECTINA

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) se evaluó el efecto de cada uno de los factores (Potencia de microondas, tiempo de hidrólisis y concentración de ácido clorhídrico sobre el rendimiento de la pectina (%p/p B.H).

En la Tabla 4 (ver Anexos) se muestra el análisis de varianza de los efectos principales y sus interacciones. El análisis de varianza indica que los términos del modelo son significativos con $p < 0.05$. En este caso, las variables y sus respectivas combinaciones A, B, C, A², AB, AC, BC indican el mayor relevancia, es decir que tienen efecto significativo con un nivel de confianza de 95% (Montgomery, 1991).

Al analizar cada uno de los factores que influyen sobre el comportamiento del rendimiento de la pectina se obtiene: i) Potencia del microondas: Cuanto mayor potencia mayor rendimiento de extracción, ya que 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 (Joye, y Luzio, 2000). ii) Tiempo de hidrólisis: cuanto mayor tiempo de hidólisis 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 péctica, cambiando sus características fisicoquímicas y funcionales, y disminuyendo su producción (Maran et al. 2015). iii) Concentración de HCl: Cuando se utilizan medios ácidos se presentan altos rendimientos de pectina, siendo este uno de los factores mas importantes al evaluar el rendimiento, lo cual coincide con ensayos ya realizados por Zegada (2015) donde la relación entre la concentración de la solución acidulada va directamente ligada con el rendimiento, obteniéndose un mayor rendimiento

cuando se utilizan medios ácidos, esto se debe a la disminución del peso molecular y la hidrólisis de las sustancias pécticas insolubles que ocurre a valores de pH ácido, lo que facilita la solubilidad; varios investigadores reportan que el pH óptimo para la extracción de pectina en otras matrices se encuentra en 1,0 y 2,0. Lo cual está de acuerdo con los resultados de rendimiento obtenidos en esta investigación.

La prueba de falta de ajuste (*Lack of Fit*) en este caso resulto no significativa, por lo tanto, se intuye que el modelo propuesto se ajusta adecuadamente a los datos, esta condición define el proceso de optimización de las respuestas. Los términos de $p > 0.05$ indican los términos del modelo que son no significativos.

El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), fue de 0.969 (mayor a 0.7), lo cual garantiza que el modelo es bueno para fines de optimización (Gutiérrez y De la Vara 2008).

La capacidad predictiva (la Figura 3) en este caso es satisfactoria, ya que muestra la correlación de los valores experimentales y los predichos. En este caso se observa que los puntos cercanos alrededor de la diagonal indican el óptimo del modelo. Los valores altos en rendimiento (%) de pectina se presentaron de acuerdo a las condiciones de tiempo de hidrólisis de 200 segundos, concentración de la solución HCL 0,36 eq/L y una potencia de microondas de 1000 W, señalando que mientras aumentan el tiempo de hidrólisis, la concentración de HCl y la potencia del microondas se obtienen mayores rendimientos (%) de pectina (anexo C). Estos resultados concuerdan con los reportados por Anaya y Martínez, 2016 al realizar la investigación de extracción de pectina a partir de càscara de maracuyá utilizando la técnica de extracción asistida por microondas.

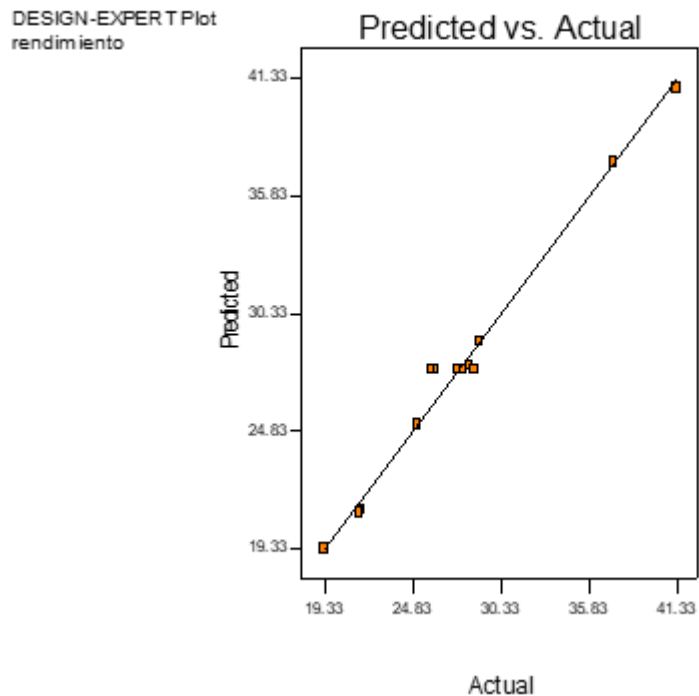


Figura 3. Datos del modelo predictivo con respecto a datos experimentales.

3.2. RENDIMIENTO DE LA PECTINA

Al mirar el rendimiento de pectina obtenida en este estudio (41,06%) se puede inferir que el diseño planteado fue acorde a lo esperado, ya que al observar los porcentajes de rendimiento obtenidos en otras pasifloras, se encuentra que este varía entre un 40% y un 60%. Liew et al. (2014) midieron la influencia del pH y tiempos de extracción sobre el rendimiento de pectina en maracuyá, este osciló entre 41.67 % a 67.31 %, dependiendo de las condiciones de extracción. Martínez y Urango (2016) encontraron que el rendimiento de pectina extraída a partir de cáscara de maracuyá fue de 68,73%, este rendimiento lo obtuvieron a las condiciones de tiempo 100 segundos, concentración de la solución de HCl 0,24 eq./L y potencia 1000 vatios. Cuesta & Muñoz (2010) obtuvieron un rendimiento de 62% utilizando un medio ácido con un pH de 3.

Con los resultados obtenidos en la tabla Anova se tiene una perspectiva clara de la relación entre las respuestas y los factores (A: Potencia, B: Tiempo y C: Concentración y sus combinaciones, A^2 , AB, AC, BC) para detectar un cambio de tendencia y acercarse a la

región óptima (Figura 4), se evidencia mayores rendimientos con los máximos valores de estas variables y sus combinaciones, pero no es posible seguir buscando la presencia o región de curvatura ya que las condiciones de proceso que se utilizaron estuvieron en su máximo límite. La presencia de A^2 señala en este caso que la potencia es uno de los factores principales con la que se puede hallar la región de curvatura, pero debido a que la potencia del equipo utilizado trabajó a la máxima capacidad de potencia de microondas (1000 W) no fue posible aumentar la potencia del equipo. Zhongdong et al. 2006 reportan que la potencia de 1000 W durante un período de 5 minutos ocasiona daños a nivel celular, razón por la cual no se siguió aumentando el tiempo de extracción, ya que el tiempo de exposición a las ondas electromagnéticas produce daños estructurales a los enlaces de la pectina, afectando su calidad. Con respecto a la concentración de HCl utilizado se puede observar que esta variable se encuentra en la mayoría de las combinaciones estudiadas, esto último es muy similar a lo encontrado por Fishman et al. 2000, cuando utilizaron valores de pH entre 1 y 3 en extracción de pectina a partir de cáscara de limón por EAM (extracción asistida por microondas), confirmando que el incremento del rendimiento de pectina se obtiene con los descensos de pH. En la presente investigación no fue posible seguir aumentando la concentración de HCl debido a que esta se encuentra en el límite inferior o valor más bajo (pH=1), al revisar los estudios de Zegada (2015) se establece que la combinación de pH demasiado bajo con temperaturas y tiempos elevados, dan lugar a la degradación de la pectina reduciendo el tamaño de las moléculas afectando de esta manera su viscosidad, en el caso opuesto, pH alto, temperatura baja y tiempo corto, se logra hidrolizar un porcentaje muy bajo de pectina, obteniéndose un bajo rendimiento.

3.3. CONTENIDO DE METOXILO

Para determinar el contenido de metoxilo se seleccionó la pectina con mayor porcentaje de rendimiento la cual tuvo un porcentaje de metoxilo del 6.20 %, es decir, menos del 7.0%, por esta razón es una pectina de bajo metoxilo. Este valor bajo de contenido de metoxilo es causado por la descomposición de la estructura de la pectina causada por el ácido. Se ha encontrado en literatura que la concentración de ácido clorhídrico (HCl) de la solución para la extracción de pectinas con valores de pH alrededor de 2,0 se obtiene mayor rendimiento en comparación con valores de pH mayores a 4, la pectina obtenida

con menor rendimiento se define de mejor calidad (Cuesta y Muñoz 2010), con contenidos de metoxilos mayores del 13% lo cual coincide con lo reportado por Martínez et al. 2016. Cuyo rendimiento de pectina extraída a partir de cáscara de maracuyá fue alto, pero al analizar el contenido de metoxilo el grado de metoxilo fue menor del 7.0%.

Las pectinas de bajo metoxilo requieren de la presencia de iones de calcio y de pH, entre 2,8 y 6,5 para poder formar interacciones útiles para la industria alimentaria de productos bajos en azúcar (light) o con edulcorantes, que sustituyen la sacarosa con destino a personas con problemas de diabetes (Cerón y Cardona, 2011).

4. CONCLUSIONES

- En el proceso de extracción de pectina asistida por microondas se observó que el rendimiento de la extracción aumento cuando aumentaron las condiciones ácido clorhídrico HCl, tiempo de extracción y potencia del microondas.
- El rendimiento de pectina s más alto se obtuvo bajo las condiciones: tiempo de 200 segundos, potencia de 1000 W y concentración de la solución acidulada (HCl) de 0,36 eq/L. El porcentaje de pectina en base húmeda obtenida a estas condiciones fue del 41,06 %.
- La pectina extraída de la badea por EAM tuvo un 6,2% de contenido de metoxilos, lo que la clasifica como pectina de bajo metoxilo.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar la influencia del estado de madurez en el rendimiento de la pectina por el método de extracción asistido por microondas.
- Determinar la estructura química de la pectina extraída.
- Comparar la pectina extraída de la cascara de la badea por el método asistido por microondas con la pectina comercial evaluándola en diferentes productos alimenticios.
- Realizar futuras investigaciones que permitan la industrialización y posicionamiento de la badea como fruto para extraer pectina.

6. BIBLIOGRAFIA

- **Abzuela, I., Herrera, M., 2012.** Extracción de pectina de alto metoxilo a partir de cascaras de parchita para la producción de mermelada. Trabajo de Investigación. Universidad de los Andes: Mérida, Venezuela.
- **Akamine, C., 1994.** Pasifloráceas. México pp. 34.
- **Álvarez, A., Burgos, F., 2012.** Comparación de las técnicas de extracción de pectina a partir de la cáscara de la parchita amarilla (*pasiflora edulis flavicarpa*). Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- **Arrazola, G., Villalba M. 2004.** Frutas, Hortalizas y Tubérculos, Perspectivas de Agroindustrialización.
- **Arzeni, A., y L. 1992.** Plantas tropicales y subtropicales. Departamento de Botánica. Universidad de Iliniois. P.P. 136-137.
- **Barazarte, H., Sangronis,E., Unai,E., 2008.** La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): Una posible fuente comercial de pectinas Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 58 (2008), pp. 64-70
- **Calvo, M., 2006.** Bioquímica de los alimentos, Pectinas. Universidad de Zaragoza: Zaragoza-España. Accedido [junio 11/06/13 /16:31].

- **Canteri, M., Moreno, L. y Wosiacki, G. 2012.** Pectina: da matéria-prima aoproduto final. *Polímeros*. 22(2), 149-157.
- **Carvajal, L., Turbay, S., Álvarez, L., Rodríguez, A., Alvarez, M., Bonilla, K., Parra, M. 2014.** Propiedades funcionales y nutricionales de seis especies de pasifloras del departamento de Huila *Caldasia* 36(1), 1-15.
- **Ceron, I.; Cardona, C. 2011.** Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*. (Colombia). 7(13):65-86.
- **Cuesta, M. y R. Muñoz,** Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá (*Passiflora edulis var. Flavicarpa Degener*). *Rev. Politécnica*, 31(1), 91-96 (2010)
- **Ferreira A., S., 2007.** Pectinas: Aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial, ed. U.N.d. Colombia., Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - Proceditor Ltda.
- **Feuillet, C., MacDougal, J., 2003.** A new infrageneric classification of *Passiflora* L. (*Passifloraceae*) *Passiflora*. 13 (2), 34–38.
- **Fishman, M., Chau, H., Cooke, P., Hotchkiss A., 2008.** Global structure of microwave-assisted flash-extracted sugar beet pectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 56, pag. 1471-1478.
- **Fishman, M., Chau, H., Hoagland P., Ayyad K., 2000.** “Characterization of pectin, flash-extracted from orange albedo by microwave heating, under pressure”. *Carbohydrate Research*. Vol. 323, pp. 126-138.
- **Galarraga, A., 2013.** Usos y beneficios de la badea, Instituto Paraguayo de nutrición y alimentación. Asunción.

- **Gaviria C., N.C. y López V., L., 2005.** Extracción a escala laboratorio de la pectina del Maracuyá y escalado preliminar a planta piloto. Departamento de Ingeniería de procesos. EAFIT: Medellín.
- **Guerreo, G., Suarez, D., Orozco, D. 2017.** Implementation of a method of extraction conditions of pectin obtained from agroindustrial by-product cocoa husks. *Temas Agrarios* Vol. 22(1) 85 – 90.
- **Gutiérrez, H., y de la Vara, R., (2008).** Análisis y diseño de experimentos, McGraw Hill Interamericana. México. 545 pp
- **<http://doi.org/10.1007/978-94-007-4053-2>.**
- <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html>.
- **Huiy, H., 1996.** Encyclopedia of Food Science and Technology; John Wiley and Sons Inc.; N.Y. pp. 2039-2043.
- **Jordi, P., 1996.** “Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón”; Universidad de Lleida; 1996
- **Joye, D., y Luzio, G., 2000.** Process for selective extraction of pectins from plant material by differential pH. *Carbohydr. Res.*, **43** (4), pp. 337–342.
- **Kertesz, Z., 1951.** *The Pectic Substances*. Interscience. New York de Vries, J. A.; Voragen, A.G. J.; Rombouts, F. M. y Pilnik, W. (1984). Changes in the structure of apple pectic substances during ripening and storage. *Carbohydr. Polymers* 4, 3-13.
- **Kratchanova M., Pavlova E. and Panchev I., 2004.** The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 56, pp. 181-185
- **León, J. 1987.** Botánica de los cultivos tropicales IICA, Ed. 2ª San José, Puerto Rico.

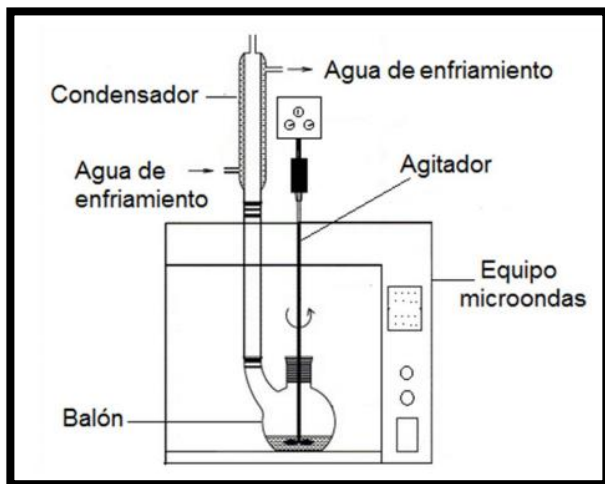
- **Lim, T., 2012.** Edible medicinal and agricultural plants. Dordrecht:Springer Netherlands.
- **Liu, Y., Shi, J., Langrish, G., 2006.** Water-based extraction of pectin from flavedo and albedo of orange peels. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 120, pag. 203-209.
- **Liew, S. Q., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2014).** Extraction and Characterization of Pectina from Passion Fruit Peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 231-236. <http://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.033>
- **MacDougal, J. M., Feuillet, C. 2004.** Systematics. In: Ulmer T, MacDougal JM (eds) *Passiflora, passionflowers of the world*. Timber, Portland, OR, USA, 27–31.
- **Maran, J., Priya, B., Vigna, C., 2015.** Optimization of ultrasound-assisted extraction of natural pigments from *Bougainvillea glabra* flowers. Volume 63, January P.p 182-189.
- **Montgomery D., 1991.** “Diseño y Análisis de Experimentos” Grupo Editorial Iberoamérica. D.F.
- **Urango,K., Ortega, F.,Vélez G., Pérez, O., 2016.** Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando Microondas. Universidad de Córdoba, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería de Alimentos, Grupo de investigación GIPPAL. Vol 29 pp. 129-136.
- **Mendoza, L., Jiménez, J. y Ramírez, M. 2017.** Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cascaras del fruto de cacao (*Teobroma cacao L.*). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 131-138
- **Ministerio de Agricultura y desarrollo rural 2012.** República de Colombia. Evaluaciones Agropecuarias Municipales, EVA 2007-2011p. EVA.
- **Mongomery, C., 2002.** Diseño y Análisis de Experimentos. 2da. Edición. Editorial Limusa, S.A. México D.F.

- **Ordoñez, M., Lopera, M., Probst, R. Paez, Y., 2009.** Guía ambiental Hortofrutícola de Colombia, Bogotá p.p 9-16.
- **Otzoy, R., Mynor., Güinac, A., 2003.** "Búsqueda, colecta y caracterización de cultivares de Granadilla de Costa (*Passiflora quadrangularis*)". Mazatenango: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- **Rojas, J., Perea, A., Stashenko, E., 2008.** Obtencion de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos; Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Vol 16, pag 110-115. Número 1; Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- **Rankes, M., 1984.** Manual de la industria de los alimentos; ed. Acribia, Zaragoza, España; pp. 393-394; 429; 1993 *Acosta, G.; Comportamiento de la pectina de la pulpa de guayaba conservada con bisulfito de sodio. trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias.
- **Salazar, C., Navarro, A., 2015.** DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES BROMATOLÓGICAS, FÍSICOQUÍMICAS Y TERMOFÍSICAS DE LA BADEA (*Passiflora quadrangularis*). Tesis Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba.
- **Sangroris, E., Soto, M., Valero, y Bucema, I. 2014.** Cascarilla de cacao Venezolano como materia prima de infusiones. Archivos Norteamericano de nutrición. Caracas, Venezuela. 64(2), 123-130.
- **Schieber, A., Stintzing, F., Carle, R. 2001.** By-products of plant food processing as a source of functional compounds recent developments. Trends in Food Science & Technology. 12(11), 401-413.

- **Seixas, F., Fukuda, D., Turbiani, F., Garcia, P., Petkowicz, C., Jagadevan, S., Gimenes, M. 2014.** Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) by microwave-induced heating *ELSEVIER Volume 38*, p.p 186-192.
- **Vanderplank, J. 1991.** Passion flowers. Cassel Publishers Limited. London .En Souza M. M. Pereira T. S.N. Carneiro M.L.,2008. Cytogenetic Studies in Some Species of *Passiflora L.* (*Passifloraceae*) A Review Emphasizing Brazilian Species. 51(2), 247-258
- **Vriesmann, L., Teófilo, R., De Oliveira, C. 2011.** Optimization of nitric acid-mediated extraction of pectin from cacao pod husks (*Theobroma cacao L.*) using response surface methodology. °Carbohydrate Polymers. 84(4),1230-1236.
- **Wang, S., Chen, F., Wu, J., Wang, Z., Liao, X., Hu, X., 2007.** Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing, China.
- **Willats, W., Knox, P., Mikkelsen, J., 2006.** Pectina: nuevos conocimientos sobre un polímero antiguo están empezando a gelificarse. Pectina: nuevos conocimientos sobre un polímero antiguo están empezando a gelificarse 17 (3), 97-104.
- **Yoctkteng, R., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Souza-Chies, T. 2011.** *Passiflora*. Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources p.p 129-171.
- **Zegada, V., 2015.** Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja
- **Zhongdong, L., Wei, Guohua., Guo, Yunchang., Kennedy, J., 2006.** Image Study of Pectin Extraction from Orange Skin Assisted by Microwave." Carbohydrate Polymers 64 (4), 548-552.

ANEXOS

Anexo A. Esquema del equipo utilizado para la extracción de pectina (Adaptado de Wang et al., 2007).



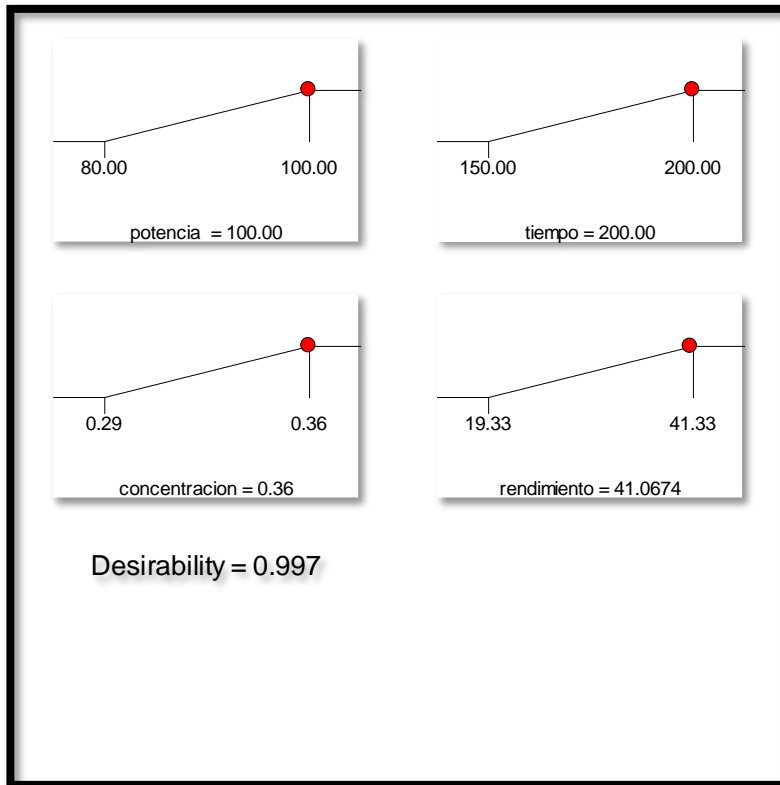
Anexo B. Tabla 4. Análisis de Varianza ANOVA

ANOVA for Response Surface Quadratic Model (Aliased)						
Response: Rendimiento de pectina						
Analysis of variance table [Partial sum of squares]						
Source	Squares	DF	Sum of Square	Mean Value	F Prob > F	
Model	431.88	7	61.70	54.63	0.0002	significant
A	292.58	1	292.58	259.06	< 0.0001	
B	46.96	1	46.96	41.58	0.0013	
C	123.88	1	123.88	109.69	0.0001	
A ²	33.03	1	33.03	29.24	0.0029	
B ²	0.000	0				
C ²	0.000	0				
AB	33.26	1	33.26	29.45	0.0029	
AC	33.26	1	33.26	29.45	0.0029	
BC	33.26	1	33.26	29.45	0.0029	
Residual	5.65	5	1.13			
<i>Lack of Fit</i>	<i>0.55</i>	<i>1</i>	<i>0.55</i>	<i>0.43</i>	<i>0.5466</i>	<i>not</i>
<i>Pure Error</i>	<i>5.10</i>	<i>4</i>	<i>1.27</i>			
Cor Total	437.53	12				

Anexo C. Tabla 5. Variables de mayor influencia en el rendimiento de pectina

Solutions					
Number	potencia	tiempo	concentración	rendimiento	Desirability
1	<u>100.00</u>	<u>200.00</u>	<u>0.36</u>	<u>41.0674</u>	<u>0.997</u> Selected
2	<u>99.97</u>	<u>200.00</u>	<u>0.36</u>	<u>40.8127</u>	<u>0.989</u>
3	<u>99.63</u>	<u>200.00</u>	<u>0.36</u>	<u>40.7353</u>	<u>0.989</u>
4	<u>100.00</u>	<u>200.00</u>	<u>0.36</u>	<u>40.7977</u>	<u>0.988</u>
5	<u>99.24</u>	<u>200.00</u>	<u>0.36</u>	<u>40.38</u>	<u>0.979</u>
6	<u>97.23</u>	<u>200.00</u>	<u>0.36</u>	<u>38.6004</u>	<u>0.932</u>
7	<u>95.88</u>	<u>200.00</u>	<u>0.36</u>	<u>37.4264</u>	<u>0.899</u>

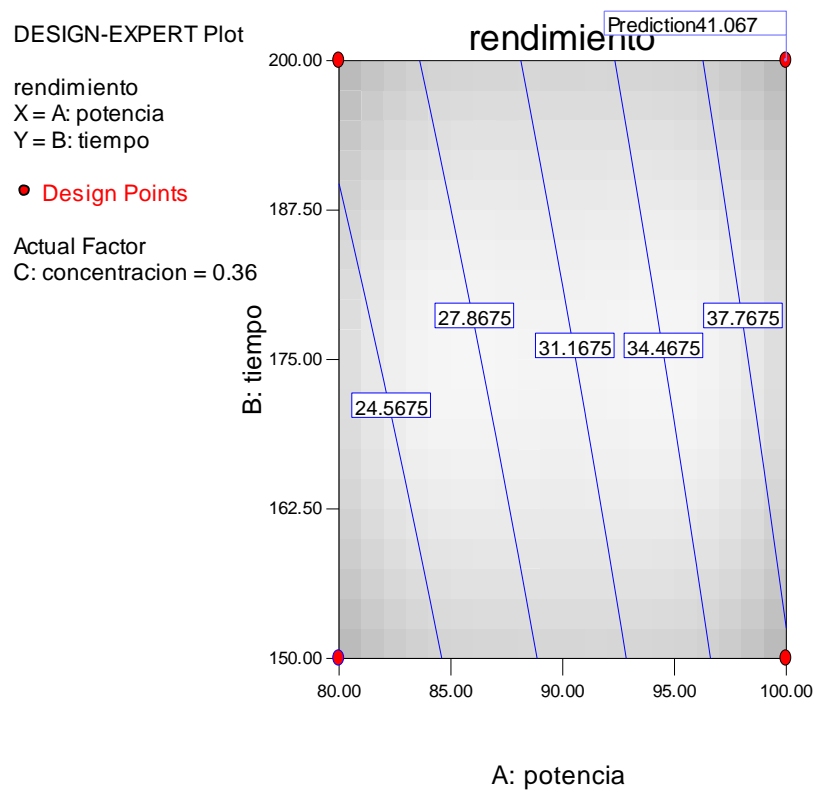
Anexo D. Efecto de las variables sobre el rendimiento de la pectina.



Anexo E. Extracto de pectina a partir de badea.



Anexo F. Figura 4. Gráfico de contorno de la variable Rendimiento.



Anexo G. Tabla 6. Resumen estadístico del modelo para la variable respuesta

Rendimiento			
Datos estadísticos del modelo			
Std. Dev.	1.06	R-Squared	0.9871
Mean	27.72	Adj R-Squared	0.9690
C.V.	3.83	Pred R-Square	0.9012
PRESS	43.24	Adeq Precision	25.760