

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

MARACAIBO - VENEZUELA



Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- Science Citation Index (SCIExpanded)
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci (online database)
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

Optimization of the extraction conditions of pectin from mango peel using response surface methodology

Clara Prieto¹, Gisela Páez¹, Jorge Ortega², Karelen Araujo¹, Zulay Mármol¹,
Marisela Rincón¹ y Johanna Raga¹

¹Laboratorios de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales. Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Apartado 526. Maracaibo 4001-A, Venezuela. Telf: 0416-8654532.
prietomclara@gmail.com

²Facultad de Agronomía. Departamento de Estadística. Escuela de Ingeniería Agronómica
Universidad del Zulia, Maracaibo 4001-A, Av. 16 (Guajira). Ciudad Universitaria "Dr. Antonio Borjas Romero".
Núcleo Agropecuario. jortegaa@gmail.com

Abstract

Time and temperature variables were optimized extracting pectin from creole mango peel (*Mangifera indica L.*) using Response Surface Methodology (RSM). Pectin was extracted applying the method of acid hydrolysis using acetic acid and alcohol precipitation. The process was adjusted to a second order model, where an encoded value was obtained for each factor and the critical value characterized as a maximum of 96.84 °C and 103.93 minutes; a predicted value for a fixed point of 19.03% for yield variable in the optimum area. The second order model found using the RSM, allows to increase the yield and quality of pectin, which contributes to cost reduction, use of lower quantity of reagents and to estimate actual yield that could be obtained industrially in the production of pectin.

Key words: Pectin; optimization; RSM; peel; mango.

Optimización de las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo empleando la metodología de superficie de respuesta

Resumen

Se optimizaron las variables tiempo y temperatura en el proceso de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo (*Mangifera indica L.*) empleando la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). Se utilizó el método de hidrólisis ácida con ácido acético y precipitación alcohólica. El proceso se ajustó a un modelo de segundo orden, donde se obtuvo un valor codificado para cada factor y el valor crítico caracterizado como un punto máximo de 96,84°C y 103,93 minutos, con un valor predicho para un punto fijo de 19,03% de la variable rendimiento en la zona del óptimo. El modelo de segundo orden hallado empleando la MSR, permite obtener condiciones que incrementen el rendimiento y la calidad de la pectina, lo que contribuye a la disminución de costos, empleo de reactivos y una estimación del rendimiento que se puede obtener a nivel industrial en la producción de pectina.

Palabras clave: Pectina; optimización; MSR; cáscara; mango.

Introducción

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 [1]. La pectina es reconocida por sus propiedades gelificantes, por esta razón, se emplea en la fabricación de gelatinas, helados, mermeladas y otros alimentos, manufactura de fármacos y elaboración de plásticos. Adicionalmente posee atributos favorables para la salud, ya que tiene numerosas aplicaciones en la industria farmacéutica pues ayuda a controlar enfermedades como la diabetes, la obesidad y la arteriosclerosis [2, 3]. En el año 2003 en Venezuela, se adquirieron 48319 kg de sustancias pécticas, pectinatos y pectatos, de países como Brasil, Dinamarca y Alemania. Esto hace que para algunas aplicaciones los costos sean muy elevados, debido a que esta industria no se ha desarrollado en el país y esto genera que la pectina sea sustituida por otros productos [4].

En la planicie de Maracaibo existe un marcado interés en el cultivo del mango con fines de exportación, existiendo 49 ha sembradas, con tendencia a incrementarse, que producen 994 toneladas y presentan rendimientos de 20327Kg/ha. Sin embargo sólo una tercera parte del mango es utilizada para su industrialización; mientras que enormes cantidades de esta fruta se acumulan en los espacios públicos o privados, ocasionando un problema ambiental de importancia. Una solución a éste problema podría ser la utilización de la cáscara del mango para extraer de esta, la pectina, una sustancia química muy importante para la industria de alimentos [5]. El aprovechamiento de la cáscara de mango beneficiaría a la industria de alimentos ya que disminuiría la importación de pectina, lo cual representa una alternativa rentable para el desarrollo de la agro-industria. Se han realizado numerosos trabajos en materia de extracción y caracterización de pectina, que incluyen la variación de las condiciones de operación que más influyen sobre el rendimiento y características de la pectina tales como: tiempo, temperatura, fruto, variedad del fruto, agente extractante, pH, estado de madurez, entre otros, cuya contribución ha sido importante para determinar cuáles de estos factores afectan en mayor medida el rendimiento en el proceso de extracción de pectina [4, 6-10]. En este sentido cuando ya se han identificado

las variables que tienen mayor influencia sobre el rendimiento en el proceso de extracción, el siguiente paso es la optimización, es decir encontrar el conjunto de valores donde las variables del proceso produzcan el desempeño óptimo.

En el caso de la cáscara del mango estudios anteriores determinaron que los factores más influyentes en el rendimiento son el tiempo y la temperatura de extracción [11-13], por lo que se hace necesario realizar la optimización de estos dos factores mediante la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). Esta metodología permite determinar las condiciones óptimas que conlleven a un proceso más eficiente y económico, el cual se ve beneficiado por el empleo de menor cantidad de reactivos, menor cantidad de energía y cantidad de fruto. Así mismo, la utilización de la cáscara de mango como fuente para la extracción de pectina aliviaría parte del problema ambiental generado por el cúmulo de material de desecho que queda sin utilización [14].

La MSR es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para modelar y analizar problemas donde una respuesta de interés recibe la influencia de varias variables y el objetivo es optimizar esta respuesta [15]. Esta metodología permite proponer una ecuación para modelar y predecir el comportamiento del rendimiento en el proceso de extracción de la pectina de la cascara de mango. El objetivo de esta investigación fue optimizar el proceso de extracción de la pectina de cáscara de mango criollo.

Parte Experimental

Preparación de la cáscara seca de mango

Las cáscaras de mango criollo se prepararon siguiendo el procedimiento recomendado por Devia [6] para producir pectinas cítricas. Primeramente, se lavaron los frutos con abundante agua destilada, luego se pesaron y se procedió a retirar la cáscara manualmente, evitando los restos de pulpa presentes en la misma, para posteriormente triturarlos en una licuadora industrial con agua destilada (1Kg de cáscara/4 litros de agua). La solución licuada se agregó a vasos de precipitado de 1000 mL y fueron llevados a baño María a una temperatura de 95°C por 15 minutos, con la finalidad de inactivar las enzimas. Posteriormente, se filtró la solución en tela de liencillo, presionando para eliminar la mayor cantidad de agua posible, La fase sólida se lavó con abundante agua hasta no detectar sólidos solubles mediante la determinación de los grados Brix. La fase sólida se sometió al proceso de secado a 60°C hasta peso constante. La materia seca se pesó, trituró, se pasó a través de un tamiz N° 18 para obtener partículas de 1mm y luego se almacenó herméticamente para su posterior análisis

Extracción de la pectina por hidrólisis ácida

La extracción de pectina se realizó por hidrólisis ácida con ácido acético, en una relación de materia seca: agua acidulada (1:16 m/v). El agua acidulada y la cáscara pulverizada se introdujeron en un recipiente de vidrio y se sometió a calentamiento con agitación constante hasta alcanzar las temperaturas de estudio por el tiempo establecido dependiendo del tratamiento. Luego del calentamiento, se procedió a enfriar la solución rápidamente para minimizar la degradación de la pectina por el calor. Seguidamente se filtró y exprimió manualmente, para después centrifugar el filtrado por 10 minutos a 3000rpm, con la finalidad de eliminar el pigmento presente en la solución para así obtener una pectina más limpia. A esta solución se le agregaron 1,5 volúmenes de etanol para precipitar la pectina, la cual se sometió al proceso de secado a 60°C hasta alcanzar peso constante. Finalmente la pectina se pesó, molió y se almacenó herméticamente para posteriores análisis [6,13, 16].

Diseño factorial

Para la extracción de pectina de la cáscara de mango se determinó que las variables que presentaron un efecto significativo sobre la variable de respuesta fueron la temperatura y el tiempo de extracción [11-13]. Por lo cual, se planteó un diseño factorial 2² con seis puntos centrales [15].

Ruta del Paso Ascendente

Este procedimiento consiste en localizar la zona de exploración evaluando la variable respuesta en aquellas combinaciones que corresponda a un comportamiento ascendente de acuerdo con el diseño encontrado en el modelo de primer orden, hasta que la variable respuesta deje de mostrar un comportamiento ascendente.

Diseño de superficie de respuesta para ajustar el modelo de segundo orden

Se utilizó un diseño central compuesto DCC, con puntos centrales en la etapa donde la ruta ascendente mostró la respuesta máxima de la variable de dependiente. A partir de dicha información se construyen las combinaciones correspondientes al diseño factorial y a las combinaciones de las aristas.

Cálculos de rendimiento

El rendimiento obtenido (%) se calculó en base a la cantidad de pectina (g) obtenida en base seca, referente a la cantidad de cascara de mango empleada (g).

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{cantidad de pectina obtenida (g)}}{\text{cantidad de cascara de mango empleada (g)}} * 100 \quad (1)$$

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos para la extracción y la caracterización de la pectina mediante la MSR fueron analizados empleando el paquete estadístico SAS versión 9.13 para Windows.

Resultados y Discusión

Modelo de Primer orden

Los valores de las variables naturales (ξ_1, ξ_2), variables codificadas (x_1, x_2) y de la variable respuesta rendimiento (y), empleadas en el diseño propuesto se muestran en la Tabla 1. Los rendimientos obtenidos en este diseño estuvieron en el rango de 3,08 a 12,46%, el valor mayor de pectina fue de 12,46% y se determinó empleando la temperatura de 95°C y 120 minutos.

Tabla 1
Datos del diseño propuesto para ajustar el modelo de primer orden

Variables Naturales		Variables Codificadas		Respuesta (Y)
Temperatura (°C) (ξ_1)	Tiempo (min) (ξ_2)	x_1	x_2	Rendimiento (%)
80	60	-1	-1	3,08
95	60	1	-1	9,38
80	120	-1	1	7,16
95	120	1	1	12,46
87,5	90	0	0	7,52
87,5	90	0	0	7,36
87,5	90	0	0	6,92
87,5	90	0	0	7,16
87,5	90	0	0	7,44
87,5	90	0	0	7,60

El análisis de varianza para este diseño factorial 2^2 se muestra la Tabla 2, donde se puede observar que hubo diferencias significativas para los efectos simples de temperatura y tiempo. La verificación del efecto de la curvatura cuadrática se realizó comparando la respuesta promedio en los cuatro puntos de la porción factorial del diseño; donde $Y_F=8$, mientras que la respuesta promedio en el centro del diseño presentó

un valor de $Y_C=7,3$. Esta relación indica que si existe una curvatura cuadrática en la verdadera función de la respuesta, entonces $Y_F-Y_C=0,7$ es una medida de esta curvatura [15]. Así mismo, el valor de la probabilidad para la curvatura resultó ser menor a 0,05, lo cual indica que esta fue estadísticamente significativa. Por lo tanto, el modelo de primer orden no es una aproximación adecuada para este análisis.

Tabla 2
Análisis de varianza del modelo de primer orden

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Prob>F
Temperatura	1	33,64	33,640	576,027	1,79E-05
Tiempo	1	12,82	12,816	219,459	1,21E-04
Temperatura*tiempo	1	0,25	0,250	4,281	0,10735
Curvatura	1	1,13	1,132	19,377	0,01167
Error Puro	4	0,23	0,058		
Total	6	48,16			

$$y = 8,0175 + 1,79x_1 + 1,535x_2 \quad (2)$$

La ecuación 2 representa el modelo de primer orden para la optimización de las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo empleando la metodología de superficie de respuesta.

Modelo de Segundo Orden

Para estudiar la naturaleza de la región de exploración se adicionaron cuatro aristas al diseño anterior para ajustar un modelo de segundo orden.

El análisis de varianza para el modelo de segundo orden indicó que la curvatura detectada corresponde a un punto estacionario mínimo de 10,68%, empleando 87,5°C y 132,42 minutos, por lo cual, se procedió a mover la zona de estudio mediante el método del ascenso más

pronunciado para así tener una estimación clara de donde se encuentra la zona del óptimo que permita obtener un punto máximo. Sin embargo, se calcularon los parámetros determinados para el modelo propuesto con dos factores y seis puntos centrales donde se encontró un valor mínimo.

Método del ascenso más pronunciado

Para la ruta del paso ascendente se calculó un paso de 7,5°C para la temperatura y de 18,5 min para el tiempo, empleando 0,5, 1 y 1,5 pasos para un total de 3 puntos de medición posible, como se puede visualizar en la Tabla 3, donde se obtuvo un rendimiento de 12,71% al emplear una temperatura de 95°C por 108,52 minutos (punto base + 1,0Δ). Estos resultados permitieron estimar la zona de estudio más indicada para aplicar el diseño central compuesto con el fin de encontrar los valores óptimos.

Tabla 3
Datos del método del ascenso más pronunciado

Pasos	Variables Naturales		Variables Codificadas		Respuesta (y)
	T (°C) (ξ_1)	t (min) (ξ_2)	x_1	x_2	Rendimiento (%)
Base	87,50	90,00	0	0	
Δ	7,50	18,52	1	0,62	
Base + 0,5Δ	91,25	99,26	0,5	0,31	12,20
Base + 1,0Δ	95,00	108,52	1	0,62	12,71
Base + 1,5Δ	98,75	117,78	1,5	0,93	12,04

T temperatura, t tiempo

Para dicho diseño se tomó como punto central 95°C y 108,5 minutos con un paso de 3°C para la temperatura y 12 minutos para el tiempo. Sin embargo, debido a las características propias de la pectina cuya estructura pudiera verse afectada al emplear temperaturas superiores a los 100°C, se decidió bajar un grado la temperatura del punto central, basados en los resultados obtenidos anteriormente. Por lo tanto, para el Diseño

Central Compuesto, el punto central fue de 94°C y 108,5 minutos con seis repeticiones, y así los valores calculados para la nueva zona de estudio de la variable temperatura se encontraron entre 89,8°C como valor mínimo y 98,2°C como valor máximo. Por su parte, la variable tiempo abarcó desde los 91,5 minutos hasta 125,5 minutos. Los resultados obtenidos al aplicar el diseño central compuesto se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4

Diseño central compuesto propuesto para la optimización de las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo

Variables Naturales		Variables Codificadas		Rendimiento (%)
Temp (°C) (ξ_1)	Tiempo (min) (ξ_2)	x_1 (Tiempo)	x_2 (Temp.)	
91	96,5	-1	-1	15,62
97	96,5	1	-1	17,41
91	120,5	-1	1	19,99
97	120,5	1	1	16,21
94	108,5	0	0	19,30
94	108,5	0	0	18,83
94	108,5	0	0	18,76
94	108,5	0	0	19,77
94	108,5	0	0	18,77
94	108,5	0	0	19,41
89,8	108,5	-1,414	0	15,96
98,2	108,5	1,414	0	20,39
94	91,5	0	-1,414	16,74
94	125,5	0	1,414	17,15

Para el modelo de segundo orden se requirió el empleo de una segunda cosecha de mango para realizar nuevamente todas las extracciones, además de las variables tiempo y temperatura, sin embargo fue notable que el efecto de temperatura fue mucho más fuerte ya que variarla unos pocos grados afectó en gran medida el rendimiento obtenido.

Es notable destacar como la variable respuesta se incrementó en esta zona de estudio hasta alcanzar un valor máximo de 20,39% con 98,2°C y 108,5 minutos. Este valor de la variable de respuesta es ligeramente inferior al obtenido por Villalobos [11], en cáscara de mango criollo, (27,30%) al emplear una temperatura entre 98-100°C por 30 min con ácido clorhídrico

como agente extractante. Sin embargo, resultó ser superior al hallado por Padilla [12], en cáscara de mango Haden, (15,8%), al emplear ácido clorhídrico por un tiempo de extracción de 75 minutos; este rendimiento es comparable al valor mínimo de 15,62% al emplear una temperatura de 91°C por 96,5 minutos.

Las Tablas 5 y 6 muestran los resultados del análisis de varianza del ajuste del modelo de segundo orden a la variable Rendimiento de Pectina. La Tabla 5 revela que al analizar en conjunto los efectos lineales, y cuadráticos no mostraron diferencias significativas ($\alpha= 0,05$), a excepción de la interacción la cual fue significativa ($Pr=0,0411$).

Tabla 5

Análisis de varianza del diseño central compuesto propuesto para la optimización de las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo

Regresión	Grados de Libertad	Tipo I	R-cuadrado	F-Valor	Pr > F
Líneal	2	4,010	0,1192	1,53	0,2738
Cuadrática	2	11,395	0,3386	4,35	0,0528
Producto Cruzado	1	7,756	0,2305	5,92	0,0411
Modelo Total	5	23,162	0,6883	3,53	0,0555

Tabla 6

Parámetros estadísticos del diseño central compuesto propuesto para la optimización de las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo

Residual	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Falta de Ajuste	3	9,615	3,2051	18,36	0,0039
Error Puro	5	0,873	0,1746		
Error Total	8	10,488	1,3110		

Se puede apreciar que el tiempo muestra un efecto significativo en su término lineal y cuadrático, así como en la interacción pero no se observa el mismo comportamiento para la temperatura. Al ser la interacción

(tiempo*temperatura) significativa, la literatura reporta que es conveniente incluir los efectos lineales y cuadráticos de los factores involucrados en dicha interacción, tal como se aprecia en la Tabla 7.

Tabla 7

Estimación de los parámetros de los datos codificados resultantes de la determinación del Diseño Central compuesto para la variable Rendimiento de Pectina (Y)

Parámetro	Grados de libertad	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr > t	Estimador del parámetro de los datos codificados
Intercepto (β_0)	1	-1039,65501	453,929	-2,29	0,0512	19,1330
Te (β_1)	1	16,09121	9,104	1,77	0,1151	0,7649
Ti (β_2)	1	5,38483	1,621	3,32	0,0105	0,6801
Te*Te (β_{11})	1	-0,06233	0,048	-1,31	0,2263	-1,0994
Ti*te (β_{12})	1	-0,03868	0,016	-2,43	0,0411	-2,7821
Ti*ti (β_{22})	1	-0,00789	0,003	-2,73	0,0257	-2,3125

El modelo cuadrático ajustado se reporta en la ecuación 3, donde x_1 corresponde al factor temperatura (°C) y x_2 corresponde al tiempo (min), este modelo permite predecir

el rendimiento de pectina (variable dependiente) empleando estos factores de estudio que como los muestra el modelo presentan una gran influencia en el proceso de extracción.

$$Y = 19,1330 + 0,7649x_1 + 0,6801x_2 - 1,0994x_1^2 - 2,7821x_1x_2 - 2,3125x_2^2 \quad (3)$$

En la ecuación 3, se presenta la determinación del modelo ajustado de segundo orden para la variable de respuesta (rendimiento) que representa un valor máximo, y para fines prácticos puede predecir el rendimiento de pectina que debe obtenerse al variar tanto la temperatura como el tiempo de extracción en el proceso de obtención de pectina.

La Tabla 8 muestra el valor codificado para cada factor y el valor crítico descodificado correspondiente a un punto máximo que se obtuvo para una temperatura de 96,84°C y un tiempo de 103,92 minutos; con un valor predicho para la variable de respuesta de 19,03% (Figura 2).

Tabla 8
Estimación de los valores óptimos para el rendimiento de pectina de la cáscara de mango criollo

Factor	Valor Codificado	Valor crítico descodificado
Temperatura (°C)	0,677291	96,84
Tiempo (min)	-0,260376	103,92

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la superficie de respuesta del modelo ajustado, donde es notable un efecto poco pronunciado sobre la temperatura, con poca pendiente, Sin embargo, para el tiempo se pone de manifiesto un marcado efecto cuadrático, además, muestra que no hay tendencia a incrementar en ningún punto, ya que todos sus puntos son cóncavos hacia abajo lo que corrobora que en efecto se está en presencia

de un punto máximo con un valor de 103,92 minutos para el tiempo y 96,84 °C para la temperatura, como se reporta en el análisis estadístico, mientras que en la Figura 2 se puede apreciar las gráfica de contorno para la variable rendimiento, donde es notable el efecto que desempeña en el estudio de las superficies de respuesta para el análisis ya que por lo general se puede localizar el óptimo con una precisión razonable.

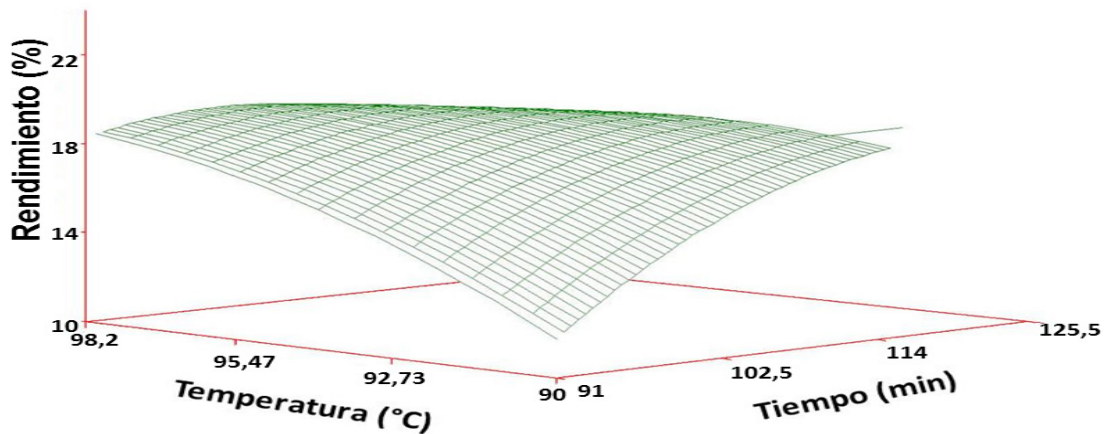


Figura 1. Superficie Respuesta del diseño central compuesto ajustado para la variable rendimiento donde se ilustra la superficie como un máximo

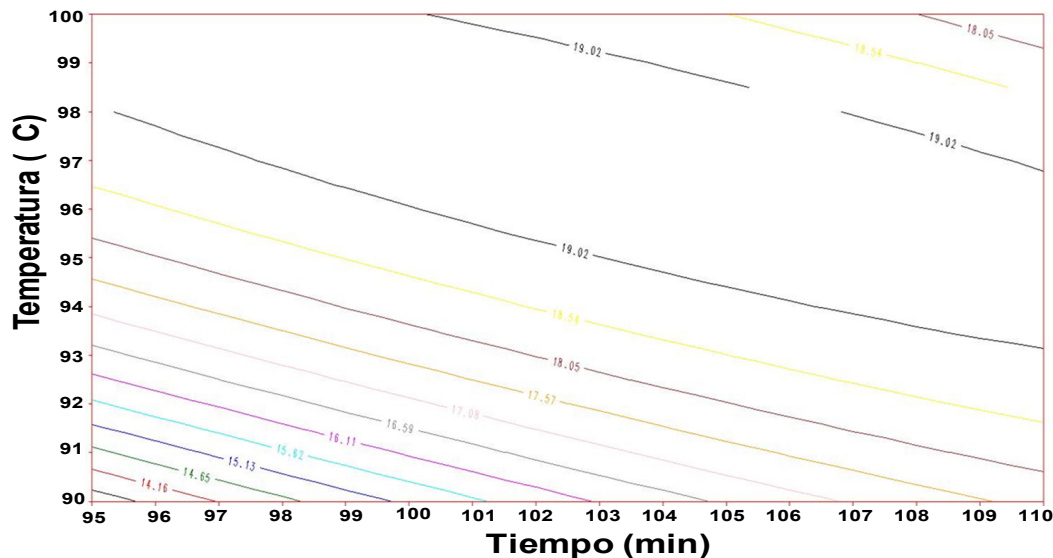


Figura 2. Gráfica de Contorno del diseño central compuesto propuesto para la optimización de las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo que ilustra la superficie como un máximo

Conclusiones

La Metodología de Superficie de Respuesta permitió determinar las condiciones óptimas de temperatura (96,84°C) y tiempo (103,93 minutos) en el proceso de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo, para un rendimiento máximo (19,3%). Los resultados del diseño central compuesto se ajustaron a un modelo de segundo orden, empleando el método del ascenso más pronunciado que permitió encontrar la zona óptima de estudio. Con este método es posible la estimación real tanto del rendimiento como la calidad de la pectina.

Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES). A los Laboratorios de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales de la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia. Al Centro Frutícola del Zulia, que mostró interés en este proyecto y gentilmente cedió las frutas para los análisis. Al profesor Jorge Ortega, por su colaboración con los análisis estadísticos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Badui S. "Química de los Alimentos". Editorial Pearson Education, México 2006.

- [2] Pornpen Y., Udomsri S., y Supitcha R. "Extraction of Pectin from Sugar Palm Meat" *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, Vol.13, (2008) 44-47.
- [3] Vriesmann, L., Teófilo, R., Oliveira, C. "Optimization of nitric acid-mediated extraction of pectin from cacao pod husks (*Theobroma cacao L.*) using response surface methodology" *Carbohydrate Polymers*, Vol. 84, (2011) 1230-1236.
- [4] D'Addosio, R., Páez, G., Marín, M., Mármol, Z., Ferrer, J. "Obtención y caracterización de Pectina a partir de la cáscara de Parchita". *Rev. Fac. Agronomía Univ. Zulia*, Vol. 22, (2005) 240-249.
- [5] Sergeant, E. "El cultivo del mango (*Mangifera indica L.*): botánica, manejo y comercialización" Editorial UCV. Venezuela 1999.
- [6] Devia, J. "Proceso para producir pectinas cítricas" *Revista Universidad EAFIT*, Vol. 129, (2003) 21-29.
- [7] Ruesga, L., Vásquez, R., D'Addosio, R., Páez, G., y Marín, M. "Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB*, subgrupo plátano) clon Hartón" *Rev. Fac. Agronomía Univ. Zulia*, Vol. 25, (2008) 318-333.
- [8] Pagan, J. "Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón". Tesis Doctoral del Departamento de Tecnología de Alimentos. Escuela Técnica Superior

- de Ingeniería Agraria de la Universitat de Lleida. Lerida, España (2004). 142pp.
- [9] Muñoz, F. "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". Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia (2011). 82pp.
- [10] Soriano, M. "Análisis de sistemas pectinolíticos bacterianos. Aislamiento y caracterización de las pectinasas PelA de *Paenibacillus* sp. BP-23 E YvpA de *Bacillus subtilis*". Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. Barcelona, España (2004). 255pp.
- [11] Villalobos, D. "Extracción de Pectina a partir de la concha de mango". Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela (1990). 64pp.
- [12] Padilla, D. "Extracción y caracterización de pectina a partir de la corteza de mango". Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela (2007). 69pp.
- [13] Prieto, C. "Efecto de las condiciones de operación en la extracción de la pectina obtenida de la cáscara de mango". Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela (2011). 67pp.
- [14] Cochran, W. y Cox, G. "Diseños Experimentales". Editorial Trillas. México, 1987.
- [15] Montgomery, D. "Diseño y Análisis de experimentos". Segunda edición. Editorial Limusa S.A. México, 2004.
- [16] Owens, H.; McCready, R.; Sheperd, A.; Shultz, T.; Phippen, E.; Swenson, H.; Miers, J.; Ehrlandsen, R. y Machali, W. "Methods used at Western Regional Research Laboratory for extraction and analysis of pectic materials". Bureau of Agricultural and Industrial Chemistry, Agricultural Research Administration, U.S. Dept. of Agriculture. Vol. 340, (1952), 1-33

Recibido el 18 de Junio de 2016
En forma revisada el 19 de Junio de 2017



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 40. N°3, Diciembre 2017 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2017, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve