

Efecto del agente de extracción y tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina de cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*)

Lilian Raquel Charchalac Ochoa

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2008

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Efecto del agente de extracción y tiempo de
hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina
de cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis*
var. *flavicarpa*)**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el Grado
Académico de Licenciado.

Presentado por

Lilian Raquel Charchalac Ochoa

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2008

Efecto del agente de extracción y tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina de cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*)

Presentado por:

Lilian Raquel Charchalac Ochoa

Aprobado:

Rodolfo Cojulún, M.Sc.
Asesor Principal

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Carrera Agroindustria Alimentaria

Francisco Javier Bueso, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Charchalac, L. 2008. Efecto del agente de extracción y tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina de cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*). Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. Honduras. 23 p.

La empresa Wild Rose, en San Pedro Sula, Honduras, procesa 400,000 frutos de maracuyá anualmente, generando aproximadamente 21,200 kgs. de cáscara como subproducto, que en su mayoría se usa como abono orgánico. Para maximizar el uso de la materia prima, se extrajo pectina de cáscaras de maracuyá y se evaluó su rendimiento y propiedades como estabilizador. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial 2*2 con dos agentes de extracción (ácido clorhídrico y ácido cítrico) a dos tiempos de extracción (90 y 120 minutos), para un total de cuatro tratamientos, tres repeticiones y 12 unidades experimentales. La pectina se extrajo mediante hidrólisis ácida. Se evaluó rendimiento, capacidad de generación de viscosidad y poder gelificante. Los datos fueron evaluados en el programa estadístico SAS® usando una separación de medias Tukey ($P < 0.05$). El rendimiento promedio fue 16.53%, comparable a otros estudios realizados. El rendimiento máximo fue 21.25%, obtenido al utilizar ácido cítrico como agente de extracción y 120 minutos de hidrólisis ácida. Se obtuvo un rendimiento significativamente mayor con ácido cítrico, mientras que el tiempo no mostró efectos significativos sobre el rendimiento de pectina. La pectina mostró potencial para generar viscosidad, sin embargo no se obtuvo gelificación. La metodología de extracción necesita ser mejorada, ya que presentó un alto costo debido a que su extracción fue a nivel de laboratorio. Sin embargo, el estudio demuestra el potencial de la cáscara de maracuyá como materia prima, lo cual agrega valor a este subproducto.

Palabras clave: agente de extracción, hidrocoloides, hidrólisis ácida.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Página de firmas.....	ii
	Resumen.....	iii
	Contenido.....	iv
	Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
5	CONCLUSIONES.....	14
6	RECOMENDACIONES.....	15
7	BIBLIOGRAFÍA.....	16
8	ANEXOS.....	18

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Rendimiento de pectina a partir de fuentes varias.....	4
2. Descripción de los tratamientos.....	7
3. Composición del fruto de maracuyá.....	9
4. Efecto de la interacción entre agente y tiempo de extracción.....	10
5. Rendimiento por tratamientos.....	10
6. Efecto del agente de extracción.....	10
7. Efecto del tiempo de extracción.....	11
8. Humedad del gel extraído.....	11
9. Viscosidad generada con 1% de pectina.....	11
10. Costos variables al utilizar ácido cítrico como agente de extracción....	12
11. Costos variables al utilizar ácido clorhídrico como agente de extracción.....	12

Figura	Página
1. Estructura química de la pectina.....	3

Anexo	Página
1. Flujo de procesos pre-tratamiento de la materia prima.....	19
2. Flujo de procesos extracción de pectina.....	20
3. Cuadro de salida SAS para rendimiento.....	21
4. Cuadro de salida SAS para tiempo y agente de extracción.....	22
5. Cuadro de salida SAS para viscosidad.....	23

1. INTRODUCCIÓN

Wild Rose es una empresa ubicada en San Pedro Sula, Honduras, dedicada a la producción de concentrados de frutas. Aproximadamente se elaboran 350 galones de concentrado diariamente. Los sabores de concentrado comercializados en general son mora, tamarindo, nance, horchata, piña, ponche de frutas, manzana, fresa, toronja, guanábana, naranja, limón, marañón, maracuyá, té frío y rosa de jamaica.

Entre los ingredientes que componen los jugos, se encuentra la goma guar en un nivel de 0.05%, la cual funciona como espesante y estabilizador.

Entre los desechos producidos a partir del procesamiento de las frutas, específicamente del maracuyá (aproximadamente 400,000 anuales), se encuentran las cáscaras de las mismas; ascendiendo a un total de aproximadamente 21,200 kgs. de cáscaras. Actualmente el 3.5% de estas cáscaras se procesa para usarse como estabilizador y el resto es enviado a la FHIA para la fabricación de abono orgánico.

La extracción de pectina de la cáscara de maracuyá y su utilización como estabilizador en los jugos producidos por la planta puede representar una alternativa de mejora tanto de la calidad del producto como económica, así como un aumento en la eficiencia ecológica de la producción.

El objetivo general de este estudio fue obtener pectina a partir de cáscaras de maracuyá a nivel de laboratorio y determinar el efecto del agente y tiempo de extracción en el rendimiento de este hidocoloide. Se evaluó la capacidad de generación de viscosidad y poder gelificante. También se cuantificaron los costos de la extracción de pectina a nivel de laboratorio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 HIDROCOLOIDES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La industria alimentaria utiliza hidrocoloides, o gomas, los cuales son polímeros hidrofílicos de origen vegetal, animal, microbiano o sintético. Entre las propiedades que aportan a los productos alimenticios están la viscosidad (incluyendo la gelificación y espesamiento) y la retención de agua, además de la emulsión, estabilización, prevención de recristalización del hielo y propiedades organolépticas (Pottí, 2007).

Generalmente son utilizadas en productos alimenticios en concentraciones de 1 – 2%, indicando su gran habilidad para producir viscosidad y formar geles (BeMiller, 2007).

Chaplin (2008), menciona que algunos de los hidrocoloides más frecuentemente utilizados en la industria son el agar, alginatos, arabinosilanos, carragenanos, carboximetilcelulosa, celulosa, goma guar, goma arábica, almidón, goma xantan y pectina.

Actualmente Wild Rose utiliza goma guar, la cual es un galactomanano que consiste en un esqueleto de β -D manopiranososa con ramificaciones en la posición 6 unidas a α -D galactosa. Es un espesante y estabilizador económico. No gelifica pero muestra buena estabilidad en ciclos de congelado-derretido. Se hidrata rápidamente en agua fría dando lugar a soluciones pseudoplásticas altamente viscosas, con viscosidad de baja cizalla en comparación a otros hidrocoloides (Chaplin, 2008).

2.2 PECTINAS

De acuerdo a Chaplin (2008), la pectina es un grupo heterogéneo de polisacáridos, encontrado en frutas y vegetales, y obtenido principalmente de pulpa de manzana y frutos cítricos. Constituye entre el 2 y 35% de las paredes de las células vegetales. Se trata de un polisacárido constituido por 150-500 unidades de ácido galacturónico (peso molecular del polímero, 30000 – 100000) parcialmente esterificado con un grupo metoxilo. La cadena que constituye el esqueleto contiene también restos de L-ramnosa y está ramificada con cadenas laterales compuestas mayoritariamente por β -D-galactopiranososa y α -L-arabinofuranosa (Dominic y Wong, 1989). La Figura 1 muestra la estructura química de este polisacárido.

Según Canteri-Schemin *et al.* (2005), la pectina es ampliamente utilizada como un ingrediente funcional en la industria alimenticia, debido a su habilidad de formar geles acuosos. Se utiliza en jaleas y mermeladas, preparaciones de frutas, concentrados de jugo de fruta, postres y producto lácteos fermentados. CPKelco (2005), menciona que

la pectina comercial se clasifica de acuerdo a su grado de esterificación: HM (High methoxyl, de alta esterificación), LMC (Low methoxyl convencional, de baja esterificación convencional) y LMA (Low methoxyl amidated, de baja esterificación amidada).

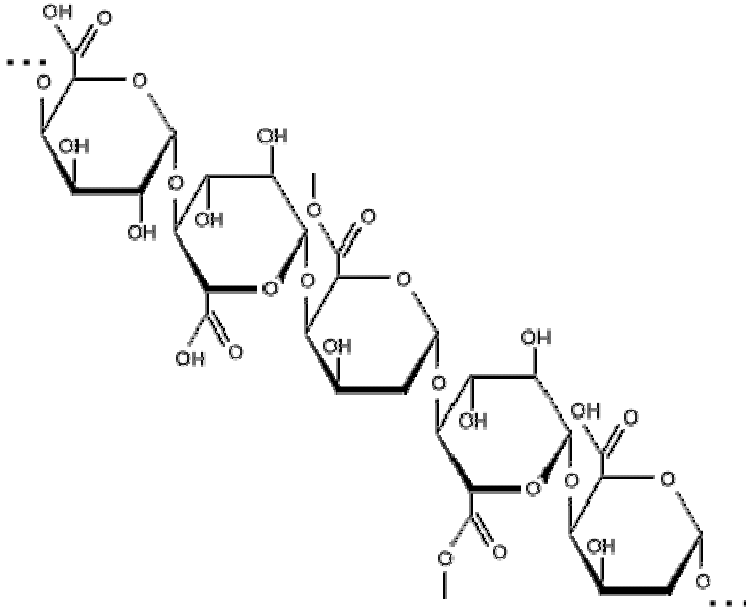


Figura 1. Estructura química de la pectina.

Fuente: (Field, SQ, 2006).

La pectina de alto metoxilo requiere una concentración de azúcar de 55-85% y un pH de 2.5 a 3.8 para gelificar. Estos requerimientos hacen que su uso como agente gelificante se limite a productos endulzados de frutas; el 80% de la producción mundial de pectina es utilizada en la manufactura de jaleas y mermelada, en las cuales la pectina es añadida para contrarrestar la deficiencia de pectinas naturales (CPKelco, 2005).

Sin embargo, según Herbstreith y Fox (2001), la adición de pectinas de alto metoxilo mejora las características de jugos de frutas en un criterio importante: la estabilidad de la nube. Las propiedades de generación de viscosidad o gusto de las pectinas se utilizan en recombinar jugos para restaurar el gusto del jugo fresco. La pectina se usa además para proveer una sensación natural en bebidas instantáneas en polvo. (CPKelco, 2005).

Devia (2003), menciona que 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. El Cuadro 1 muestra el rendimiento promedio de pectina obtenida a partir de éstas.

Cuadro 1. Rendimiento de pectina a partir de fuentes varias.

Fruto	% Pectina
Cítricos	20 - 35%
Manzana	10 - 15%
Girasol	15 - 25%
Remolacha	10 - 20%
Maracuyá	15 - 20%

Fuente: Herbstreith y Fox (2005).

2.3 MARACUYÁ (*Passiflora edulis*)

De acuerdo a Serna y Chacón (2000), el maracuyá es una planta de origen tropical cuyos frutos presentan un sabor particular intenso y una alta acidez.

Es fuente de proteínas, minerales, carbohidratos y grasas. Se consume como fruta fresca o en jugo y se utiliza para preparar productos como néctares, yogurts, mermeladas, etc.

La composición típica de la fruta de maracuyá es la siguiente: cáscara 50-60%, jugo 30-40%, semillas 10-15%.

De acuerdo a Lima (1999), el jugo es el principal producto obtenido del maracuyá. Sin embargo, la producción de jugo resulta en grandes cantidades de residuos, ya que cerca del 60-70% del peso total de la fruta está representado por la cáscara y las semillas. Estos residuos pueden ser aprovechados industrialmente, teniendo en cuenta el alto contenido de pectina de la cáscara y de aceite en las semillas.

El contenido de pectina de la corteza del maracuyá amarillo, la variedad utilizada en la fabricación de bebidas, es de alrededor del 2%; el rendimiento de extracción de pectina es alto y el nivel de metoxilos es suficiente para su aplicación en la producción de jaleas (Lima, 1999). D'Adossio *et al.* (2005) reportó la obtención de pectinas de alto metoxilo a partir de cáscaras de maracuyá.

2.4 EXTRACCIÓN DE PECTINA

Existen diferentes métodos para realizar la extracción de pectina a partir de productos vegetales. Yapo (2008), comparó dos métodos de extracción, ácida y enzimática, y tres procedimientos de purificación, diálisis, precipitación con alcohol y precipitación con metal. El tratamiento enzimático mostró mayor rendimiento que el tratamiento con ácido en caliente. La precipitación con metal fue el método más eficiente para purificar pectina.

D'Adossio *et al.* (2005), llevó a cabo un estudio de extracción de pectina con hidrólisis ácida a partir de cáscaras de maracuyá en la Universidad del Zulia (Venezuela), obteniendo como mejor rendimiento 18.45% en base seca, extraído con H_3PO_4 - $(NaPO_3)$ y la mejor calidad con HCl.

Canteri-Schemin *et al.* (2005), realizó extracción de pectina a partir de pulpa de manzana. Los rendimientos más altos fueron de 9.73% utilizando pulpa seca como materia prima y 13.75% utilizando ácido cítrico como agente de extracción. También se han realizado estudios de extracción a partir de girasol (Iglesias y Lozano, 2003), Krueo Ma Noy (Singthong *et al.*, 2004), remolacha, (Yapo *et al.*, 2005), cacao (Arlorio *et al.*, 2001).

De acuerdo a CPKelco (2005), a nivel industrial suele realizarse con agua caliente acidificada (hidrólisis ácida). Esta se realiza con ácido diluido (pH 1.5 – 3.0), en un rango de temperatura de 60-100°C. El extracto es filtrado y la pectina es precipitada, con lo cual se logra separar la pectina presente del resto de compuestos de las cáscaras, para luego secarla y molerla hasta obtener un fino polvo listo para comercializarlo (Itescam, 2007). La composición y propiedades de las preparaciones de pectina varían con la fuente, el manejo y preparación de la cáscara, el tipo de extracción y tratamientos subsecuentes (BeMiller, 2007).

De acuerdo a Itescam (2007), y Canteri-Schemin *et al.* (2005), el ácido más conveniente para llevar a cabo la hidrólisis ácida es el ácido cítrico. Asimismo, artículos recientes recomiendan el uso de ácido hidrocórico (Kalapathy y Proctor, 2001; Dinu, 2001). El rango de tiempos de extracción mencionado por las diversas fuentes literarias citadas en este estudio está comprendido entre 80 minutos – 120 minutos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

Este estudio se llevó a cabo en la Planta de Procesamiento Hortofrutícola Zamorano, y el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ) localizados en la EAP, a 30 km. de Tegucigalpa, en el departamento de Francisco Morazán, Honduras.

3.2 MATERIALES

Los materiales utilizados en este estudio incluyeron:

- Frutos de maracuyá (*Passiflora edulis* var *flavicarpa*)
- Ácido cítrico anhidro (C₆H₈O₇). RZBC Co. Ltd.
- Ácido clorhídrico (HCl). Fisher Chemical/Fisher Scientific al 38.7%
- Hexametáfosfato de sodio (NaPO₃)₆, J.T. Baker Chemical Co.
- Agua destilada
- Etanol comercial al 95%
- Sacarosa comercial

3.3 EQUIPO

- Hornilla con agitador magnético CORNING PC 620D
- Balanza analítica Mettler AE200
- Balanza OHAUS HEAVY DUTY 20 kg.
- Potenciómetro CORNING pH meter 320
- Termómetro Taylor 9878
- Procesador de alimentos Kitchen Aid Ultra Power
- Viscosímetro Brookfield
- Molino Thomas Scientific Model 3383-L10. Malla 20.
- Magneto agitador, agitador de vidrio

3.4 MÉTODOS

3.4.1 Diseño Experimental

Se usó un diseño completamente al azar (DCA), evaluando cuatro tratamientos con diferencias en tiempos de extracción y agente de extracción utilizado, en 3 repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales.

El Cuadro 2 describe los tratamientos que se aplicaron en el estudio. Se añadió la cantidad de ácido necesaria para llevar el agua destilada hasta un pH 2.0.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos.

Tiempo de hidrólisis (min)	Ácido clorhídrico	Ácido cítrico
90 minutos	T1	T3
120 minutos	T2	T4

Las variables medidas fueron:

- Rendimiento de pectina (% sobre peso seco de las cáscaras)
- Capacidad de gelificación/generación de viscosidad (Pa*s)

3.4.2 Método de extracción de pectina

El método utilizado para la extracción de pectina consistió en hidrólisis ácida, método que de acuerdo a diversas fuentes (comerciales y publicaciones) es el que la industria maneja para este proceso.

3.4.3 Preparación de la muestra

Se seleccionaron los frutos de maracuyá a utilizar para el estudio: en buen estado, sin hongos, gusanos o partes en descomposición, en un estado de coloración amarillo. Se lavaron y desinfectaron las frutas, y se les retiró la pulpa y semillas. Se cortaron las cáscaras en pedazos más pequeños, y se les dio un tratamiento térmico: 10 minutos en agua a 90°C, para inactivar las enzimas pectinesterasas y evitar la degradación de la pectina. Se enfrió hasta llevar a temperatura ambiente, se redujo el tamaño de partícula en un procesador de alimentos y se almacenó en refrigeración a 7°C hasta su uso (sin exceder de dos semanas).

3.4.4 Extracción de pectina

Se preparó agua acidulada, agregando ácido clorhídrico ó ácido cítrico en agua destilada hasta alcanzar un pH 2.0; se le agregó 1% de hexametáfosfato de sodio, como secuestrante de los iones calcio a los cuales está ligada la pectina en el albedo de la cáscara. Se pesaron 100 g de muestra y se colocaron en un erlenmeyer de 2 l junto

con el agua acidulada en una relación de 1:10 peso/peso. Se calentó la solución a 90°C y se mantuvo con agitación constante durante 90 ó 120 minutos. Se retiró de la fuente de calor y se llevó a temperatura ambiente, para posteriormente filtrar la solución con un filtro de tela. El filtrado se dejó reposar durante 4 horas, y se agregaron 1,5 volúmenes de etanol al 95% para precipitar la pectina. Se dejó en reposo durante 4 horas para permitir la floculación de la pectina, se filtró el producto obtenido y se almacenó a 7°C.

Se secó el producto a 60°C en un horno con corriente de aire por 24 horas; se molió y tamizó con una malla de 20 mesh y se almacenó.

3.4.5 Determinación de Propiedades Espesantes

El rendimiento fue calculado comparando la cantidad de pectina obtenida con la cantidad inicial de cáscaras utilizadas. Todos los valores fueron calculados con base en peso seco de las muestras.

La determinación de las propiedades espesantes se llevó a cabo con el método SAG (IFT SAG method, "Pectin Standardization", Food Technology, vol. XIII, pp. 496-500, 1959). La pectina obtenida de maracuyá es de alto metoxilo, por lo tanto se preparó un gel estándar de prueba que consiste en pectina (1%), azúcar, ácido y agua (65% SS, pH 2.2), y se evaluó la firmeza del gel y su viscosidad. En este estudio se utilizó el viscosímetro Brookfield. Se realizaron tres mediciones por cada unidad experimental, y los resultados fueron reportados en Pa*s.

3.4.6 Análisis Estadístico

Para realizar el análisis estadístico se usó el programa Sistema de Análisis Estadístico (SAS). Se realizó un ANDEVA con una separación de medias Tukey para establecer diferencias, con una probabilidad <0.05.

3.4.7 Análisis de costos de la obtención de pectina a nivel de laboratorio y comparación con el uso de pectina comercial

Se analizaron los costos variables en los cuales se incurrió a nivel de laboratorio para la extracción de la pectina.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Composición de la fruta

El Cuadro 3 muestra la composición estructural de las frutas utilizadas en el estudio. Los valores son comparables a los que indica la literatura (Serna y Chacón, 2000; Lima, 1999).

Cuadro 3. Composición del fruto de maracuyá.

Descripción	Porcentaje Obtenido	Porcentaje Promedio*
Fruto entero	100%	100%
Jugo y semillas	47%	40-55%
Cáscara	53%	50-60%
Peso seco albedo	8%	ND ¹
Pectina	1,27%	2,00%

*Fuente: Serna y Chacón, 2000; Lima, 1999.

1. Dato no disponible en la literatura consultada.

4.2 Rendimiento de pectina

El rendimiento de pectina estuvo en un rango de 12.7% hasta 21.25% a partir del peso seco de las cáscaras. El rendimiento más alto fue obtenido con el tratamiento 4; éste mostró diferencias significativas con los tratamientos 1 y 2, pero fue igual al tratamiento 3.

La media de rendimiento de pectina comparada con el peso seco del albedo es de 16.54%. Este rendimiento es comparable al obtenido por D'Adossio *et al.* (2005), en cuyo estudio la media de recuperación para el mejor tratamiento, en el cual se utilizó $H_3PO_4-(NaPO_3)_6$ fue de 16.58%.

El Cuadro 4 muestra el efecto de la interacción de las dos variables evaluadas, agente y tiempo de extracción, sobre el rendimiento de pectina. En todos los tratamientos la probabilidad fue menor a 0.05, lo cual indica que la interacción de las dos variables fue significativa en cuanto al rendimiento de pectina obtenido.

Cuadro 4. Efecto de la interacción entre agente y tiempo de extracción.

Acido	Tiempo (min)	Media (%)	Pr < 0.05
C ₆ H ₈ O ₇	90	16.80 ± 3.32 ^a	<.0001
C ₆ H ₈ O ₇	120	21.25 ± 0.59 ^{ab}	<.0001
HCl	90	15.38 ± 1.81 ^b	<.0001
HCl	120	12.71 ± 2.10 ^b	<.0001

El Cuadro 5 muestra las medias obtenidas para el rendimiento de cada tratamiento utilizado. La interacción con un mejor rendimiento fue el tratamiento 4 (ácido cítrico y 120 minutos), el cual mostró diferencias significativas con respecto a los tratamientos 1 y 2, pero fue igual estadísticamente al tratamiento 3, como lo indica la separación de medias.

Cuadro 5. Rendimiento por tratamientos.

Tratamiento	Rendimiento (%)	Agrupación de Tukey
C ₆ H ₈ O ₇ + 120 min	21.25 ± 0.59	A
C ₆ H ₈ O ₇ + 90 min	16.80 ± 3.32	AB
HCl + 90 min	15.38 ± 1.81	B
HCl + 120 min	12.71 ± 2.10	B

4.3 Efecto del agente de extracción

Como se indica en el Cuadro 6, se obtuvo un rendimiento significativamente mayor al utilizar ácido cítrico para la extracción, ya que la probabilidad fue menor a 0.05. Este resultado es comparable a un estudio realizado sobre la extracción de pectina de pulpa de manzana (Canteri Schemin *et al.*, 2005), donde se comparó el uso de varios ácidos fuertes y débiles, obteniéndose como común denominador al ácido cítrico como el mejor agente de extracción, ya que con él se obtuvo el promedio de extracción más alto.

Cuadro 6. Efecto del agente de extracción.

Ácido	Media (%)	Pr < 0.05
C ₆ H ₈ O ₇	19.02 ± 3.00 ^a	0.0042
HCl	14.04 ± 2.58 ^b	

4.4 Efecto del tiempo de extracción

El Cuadro 7 presenta los resultados obtenidos sobre el efecto del tiempo de extracción en el rendimiento de pectina. La literatura menciona rangos de tiempo que van desde los 60 hasta los 120 minutos de extracción. En este estudio, a temperatura y pH constante, el rendimiento de pectina obtenido para 90 minutos de extracción fue igual

que el obtenido para 120 minutos, como lo muestra la probabilidad, que fue mayor a 0.05. Lo cual indica que un incremento en el tiempo recomendado de extracción no contribuye a una mejora en la cantidad de pectina extraída.

Cuadro 7. Efecto del tiempo de extracción.

Tiempo (min)	Media (%)	Pr < 0.05
90	16.09 ± 1.43 ^a	0.5006
120	16.98 ± 2.30 ^a	

4.6 Humedad

Se obtuvo un promedio de humedad de 95.61% para el gel de pectina obtenido como resultado del segundo filtrado. Este alto valor se debe a que el filtrado y exprimido se realizó de forma manual, causando esta variabilidad y disminución en la eficiencia de este paso.

Cuadro 8. Humedad del gel extraído.

Tratamiento	Humedad (%)	Agrupamiento de Tukey
HCl + 120 min	96.40 ± 0.03	A
HCl + 90 min	95.71 ± 0.88	A
C ₆ H ₈ O ₇ + 120 min	95.62 ± 0.70	A
C ₆ H ₈ O ₇ + 90 min	94.73 ± 0.89	A

Según muestra el Cuadro 8, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad de los diferentes tratamientos.

4.7 Propiedades gelificantes

Al evaluar la firmeza del gel producido bajo las condiciones descritas por el método de la IFT (1959), se obtuvo un gel débil. Se midió la viscosidad generada en presencia de la pectina, y se comparó con una solución sin pectina. El Cuadro 9 muestra los valores de viscosidad obtenidos para cada tratamiento, los cuales se compararon con un control consistente en una solución sin pectina.

Cuadro 9. Viscosidad generada con 1% de pectina.

Tratamiento	Viscosidad (Pa*s)	Agrupamiento de Tukey
HCl + 120 min	2.71 ± 0.05	A
HCl + 90 min	2.25 ± 0.06	B
C ₆ H ₈ O ₇ + 120 min	2.13 ± 0.06	B
C ₆ H ₈ O ₇ + 90 min	1.75 ± 0.08	C
Control	1.49 ± 0.12	D

La separación de medias indica que existieron diferencias significativas en la viscosidad generada por la pectina extraída con los diferentes tratamientos. Se generó más viscosidad con la pectina extraída con el tratamiento 2 (HCl + 120 minutos), y como se esperaba, el control fue significativamente menos viscoso que las soluciones con pectina.

La pobreza de la gelificación se atribuye a un tamaño de partícula demasiado grande, ya que con el molino utilizado solamente se consiguió reducir las partículas para su paso por una malla de 20 mesh, mientras que lo ideal es reducirlas hasta su paso por una malla 60 mesh (CPKelco, 2005). Es sabido que el tamaño de partícula tiene una influencia directa sobre la viscosidad de la solución obtenida.

4.8 Análisis de costos

Se realizó un análisis de costos calculados sobre la base del rendimiento promedio de la extracción (16.53% de pectina), tomando en cuenta la cantidad de reactivos utilizados y el tiempo promedio de uso del equipo, para obtener 1 kg. de pectina.

Cuadro 10. Costos variables al utilizar ácido cítrico como agente de extracción.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario L	Precio unitario US\$	Costo US\$	Costo L
Cáscara de maracuyá	6.25	kg	14.00	0.75	4.73	87.5
Agua destilada	568.18	l	10.00	0.54	307.13	5,681.82
Ácido cítrico	22.73	kg	39.00	2.10	47.91	886.36
Hexametáfosfato de sodio	5.68	kg	150	8.11	46.07	852.27
Etanol al 95%	767.05	l	16.55	0.89	686.19	12,694.60
Total						20,202.56

Cuadro 11. Costos variables al utilizar ácido clorhídrico como agente de extracción.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario L	Precio unitario US\$	Costo US\$	Costo L
Cáscara de maracuyá	6.25	kg	1.00	0.75	4.73	87.5
Agua destilada	568.18	l	10.00	0.54	307.13	5,681.82
Ácido clorhídrico	0.852	l	1,330.00	70.00	61.27	1,133.20
Hexametáfosfato de sodio	5.68	kg	150.00	8.11	46.07	852.27
Etanol al 95%	767.05	l	16.55	0.89	686.19	12,694.60
Total						20,449.72

El Cuadro 10 muestra el costo de producción de pectina a nivel de laboratorio al utilizar ácido cítrico como agente de extracción. Este asciende a L.20,202.56 por kilogramo de pectina producido, mientras que el costo al utilizar como agente de extracción ácido clorhídrico es de L.20,449.72, tal como está detallado en el Cuadro 11.

El costo de extracción de pectina es excesivamente caro al compararlo con el precio de la pectina comercial (L.290.00 por kilogramo), sin embargo hay que considerar que varios pasos del proceso pueden ser optimizados, como la destilación y reutilización del etanol, así como el secado de las cáscaras previo a su procesamiento, para disminuir la cantidad de agua acidulada necesaria para llevar a cabo la hidrólisis ácida; además de que por haberse realizado a nivel de laboratorio, el costo es superior a un estudio a nivel comercial.

5. CONCLUSIONES

- El ácido cítrico tuvo un efecto positivo significativo en el rendimiento de pectina obtenido a través del proceso de hidrólisis ácida.
- El aumento en el tiempo de extracción de 90 a 120 minutos no reportó un aumento significativo en la cantidad de pectina extraída.
- La pectina mostró características de generación de viscosidad; sin embargo no se obtuvo la gelificación esperada, debido a un tamaño de partícula excesivamente grande.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de extracción de pectina a nivel industrial, utilizando el tratamiento con el cual se obtuvo el mayor rendimiento en el laboratorio.
- Hacer pruebas de la pectina extraída en productos terminados.
- Explorar una forma de recuperar por destilación el alcohol empleado, para su reutilización.
- Buscar un uso racional para la masa de cáscaras sobrante de la extracción de pectina.
- Optimizar el proceso incluyendo pasos previos de secado, así como concentración del líquido obtenido con el fin de disminuir la cantidad de reactivos necesarios para llevar a cabo la extracción.
- Evaluar combinaciones de tiempos y temperaturas de secado en solubilidad y poder espesante y gelificante de la pectina.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arlorio, M; Coisson, JD; Restani, P; Martelli, A. 2001. Characterization of pectins and some secondary compounds from *Theobroma cacao* hulls. *Journal of Food Science*. Vol. 66, No. 5: 653-656.

BeMiller, JN. 2007. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. St. Paul, MN. AACC International Press. 2nd. Edition. 389 p.

Canteri-Schemin, MH; Ramos, H; Waszczynskyj, N; Wosiacki, G. 2005. Extraction of pectin from apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 48, n. 2: pp 259-266.

Chaplin, M. 2008. Pectin (en línea). UK. Consultado 1 sep. 2008. Disponible en <http://www.lsbu.ac.uk/water/hypec.html>

CPKelco. 2005. Pectin. Consultado 1 sep. 2008. Disponible en <http://www.cpkelco.com/food/pectin.html>

D'Adossio, R; Páez, G; Marín, M; Mármol, Z. Ferrer, J. 2005. Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Pasiflora edulis f. flavicarpa* Degener). *Revista Facultad Agronómica (LUZ)* 22:240-249.

Devia, JE. 2003. Proceso para producir pectinas cítricas. Medellín, CO. *Revista Universidad EAFIT* 120. 21-30.

Dinu, D. 2001. Extraction and characterization of pectin from wheat bran. *Roumanian Biotechnology Letter*, 6. 37-43.

Dominic, WS; Wong. 1989. *Química de los Alimentos: Mecanismos y Teoría*. Barcelona, ES. Editorial Acribia. 459 p.

Field, SQ. 2006. Ingredients. Consultado 18 sep. 2008. Disponible en: <http://sci-toys.com/ingredients/pectin.html>

Herbstreith y Fox. 2001. Cloud stabilisation of pineapple and passion fruit juice as well as nectars produced from concentrate. Neuenbürg, AL. *Technical Application Information*. 13 p.

Herbstreith y Fox. 2005. *The specialists for pectin*. Neuenbürg, AL. Edition 2/8. 33 p.

IFT Committee. 1959. Pectin standardization. *Journal of Food Technology*. Vol. 13. 496-500.

Iglesias, MT; Lozano, JE. 2003. Extraction and characterization of sunflower pectin. *Journal of Food Engineering*. Vol. 62: 215-223.

Itescam. 2007. Obtención y propiedades químicas de las pectinas. Consultado 11 de mayo 2008. Disponible en <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r22061.DOC>

Kalapathy, U; Proctor, A. 2001. Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. *Food Chemistry*, 72. 393-396.

Lima, A de A. 1999. coord. O cultivo do maracujá. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. 130 p. (EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 35)

Pottí, D. 2007. Materias Primas: Estabilizantes: Pectinas. Consultado 1 sep. 2008- Disponible en: <http://www.mundohelado.com/materiasprimas/estabilizantes/estabilizantes-pectinas.htm>

Serna, J; Chacón, C. 2000. El Cultivo del Maracuyá. Bogotá, CO. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 32 pp.

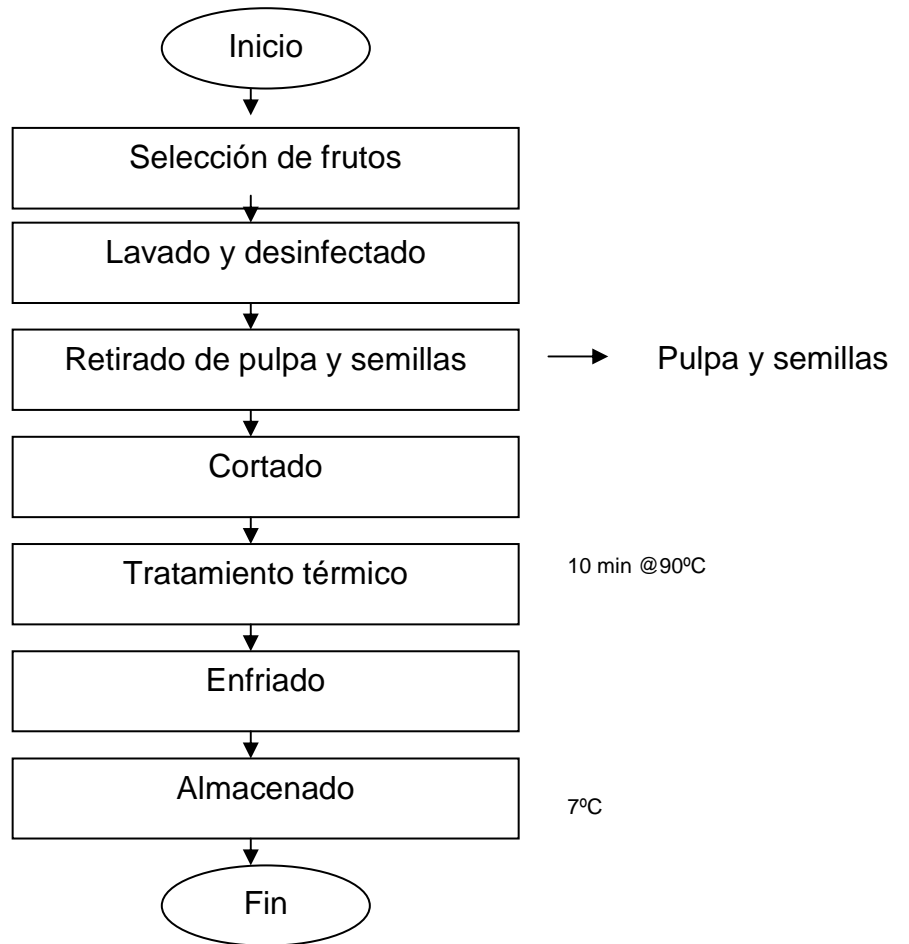
Singthong, J; Ningsanond, S; Cui, S; Goff, D. 2004. Extraction and psychochemical characterization of Krueo Ma Noy pectin. *Food Hydrocolloids*. Vol. 19: 793-801.

Yapo, BM. 2008. Composition and psychochemical properties of pectin from yellow passion fruit rind as affected by the extraction and purification procedures, *Food Chemistry* (2008), doi: 10.1016/j.foodchem.2008.03.034

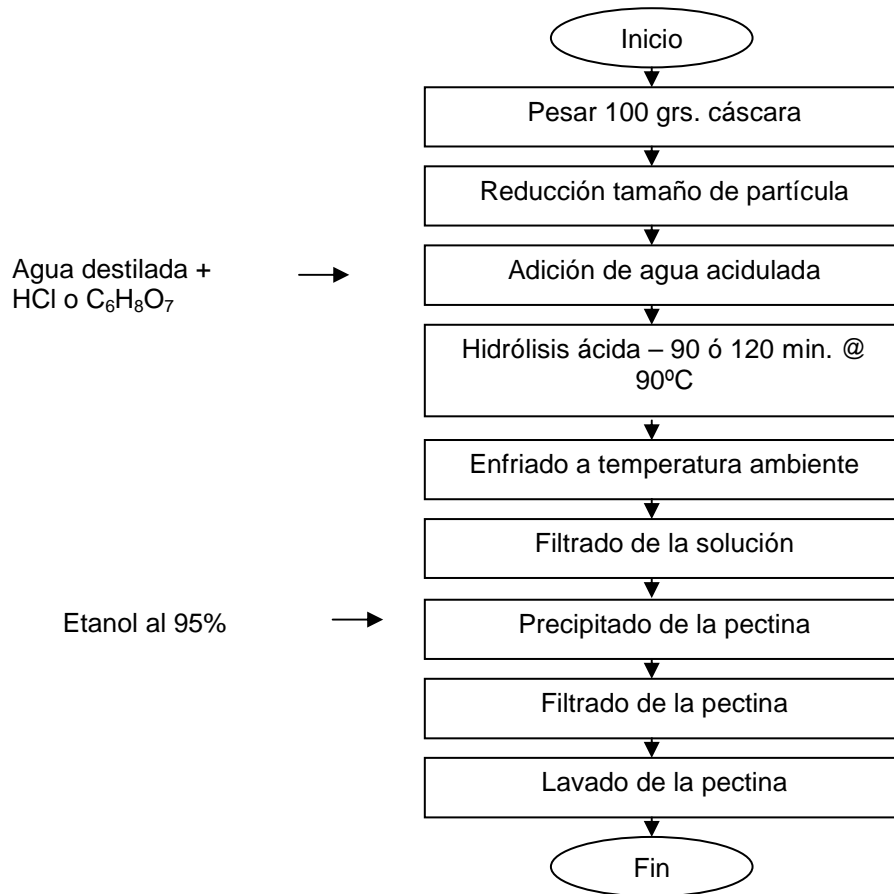
Yapo, BM; Robert, C; Etienne, I; Wathelet, B; Paquot, M. 2005. Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry* 100: 1356-1364.

8. ANEXOS

Anexo 1. Flujo de procesos pre-tratamiento de la material prima.



Anexo 2. Flujo de procesos extracción de pectina.



Anexo 3. Cuadro de salida SAS para rendimiento.

11		Sistema SAS	10:02 Friday, October 10, 2008			
Procedimiento GLM						
Variable dependiente: RENDIMIENTO						
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	
Modelo	3	114.9270943	38.3090314	8.03	0.0085	
Error	8	38.1557997	4.7694750			
Total correcto	11	153.0828940				
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	RENDIMIENTO Media		
0.750751		13.20577	2.183913	16.53756		
Tukey Agrupamiento		Número de Media observaciones		TRAT		
A		21.255	3	t4		
A						
B	A	16.804	3	t3		
B						
B		15.382	3	t1		
B						
B		12.710	3	t2		

Anexo 4. Cuadro de salida SAS para tiempo y agente de extracción.

Sistema SAS		21:06 Sunday,
Medias de cuadrados mínimos		

TIEMPO	RENDI LSMEAN	Error estándar	H0:LSMEAN=0 Pr > t	H0:Media LS1=MediaLS2 Pr > t
90	16.0928700	0.8915787	<.0001	0.5006
120	16.9822550	0.8915787	<.0001	

ACIDO	RENDI LSMEAN	Error estándar	H0:LSMEAN=0 Pr > t	H0:Media LS1=MediaLS2 Pr > t
Cit	19.0292817	0.8915787	<.0001	0.0042
HCl	14.0458433	0.8915787	<.0001	

ACIDO	TIEMPO	RENDI LSMEAN	Error estándar	Pr > t	Número LSMEAN
Cit	90	16.8039033	1.2608826	<.0001	1
Cit	120	21.2546600	1.2608826	<.0001	2
HCl	90	15.3818367	1.2608826	<.0001	3
HCl	120	12.7098500	1.2608826	<.0001	4

Medias de cuadrados mínimos para el efecto ACIDO*TIEMPO
Pr > |t| para H0: MediaLS(i)=MediaLSn(j)

Variable dependiente: RENDI

i/j	1	2	3	4
1		0.0372	0.4482	0.0508
2	0.0372		0.0110	0.0014
3	0.4482	0.0110		0.1724
4	0.0508	0.0014	0.1724	

NOTA: Para asegurar un nivel de protección completo, sólo se deben usar probabilidades asociadas con comparaciones preplanificadas .

Anexo 5. Cuadro de salida SAS para viscosidad.

Sistema SAS		10:02 Friday, October 10, 2008 18			
Procedimiento GLM					
Variable dependiente: VISC					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	2644333.333	661083.333	117.49	<.0001
Error	10	56266.667	5626.667		
Total correcto	14	2700600.000			

	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	VISC Media
	0.979165	3.623725	75.01111	2070.000
Tukey Agrupamiento	Media	Número de observaciones	TRAT	
A	2713.33	3	t2	
B	2250.00	3	t3	
B	2136.67	3	t4	
C	1756.67	3	t1	
D	1493.33	3	control	