

**EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE EXTRACCIÓN SOBRE LAS
PROPIEDADES FÍSICO- QUÍMICAS DE LA PECTINA OBTENIDA A
PARTIR DE MANGO MAYAGÜEZANO (*Mangifera indica L.*)**

Por

Pamela Cadavid Diago

Tesis sometida como requisito para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO

RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2013

Aprobado por:

Fernando Pérez Muñoz, PhD
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Rosa N. Chávez Jáuregui, PhD
Miembro, Comité Graduado

Fecha

María de Lourdes Plaza, PhD
Miembro, Comité Graduado

Fecha

David Sotomayor Ramírez, PhD
Representante Estudios Graduados

Fecha

Edna Negrón, PhD
Coordinadora del Programa

Fecha

ABSTRACT

The Mango variety “Mayagüezano” (*Mangifera indica* L.) is a typical fruits of western Puerto Rico and widely distributed through the island. This research proposes the use of Mango Mayagüezano as a source of Pectin to give an added value to the fruit. To this end, the effect exerted by extraction conditions with hydrochloric acid on the properties of the pectin obtained from Mayagüezano peel and pulp was studied. Responses of interest were degree of esterification and yield of the pectin. Studied extraction conditions were pH (1.5-3.0), temperature (80-90 °C) and time (45-90 min). The extraction yields values (g pectin/ g dry material) found vary from 4.93% to 18.51% for the peel, and 3.85-12.33% for the pulp. Yield was inversely related to pH. For the degree of esterification, average values varied from 71.52% - 96.63% for the pulp, and 63.87% - 93.44% for the peel. Degree of esterification was directly related to pH. FTIR spectra obtained for pulp pectin exhibited the presence of two bands, 1650 cm^{-1} , the free carboxy groups band, and 1750 cm^{-1} , the esterified carboxyl groups band, which explain the degree of esterification. Effect of the extraction conditions on the gelling capacity of the obtained pectin measured by the ridgelimeter and the Bostwick consistometer was also studied. Results suggested that the pH is important to explain consistometer data while, for ridgelimeter data, fruit section explains the variability better. No significant relation was found between gelling capacity and consistometer or ridgelimeter measurements. Evaluation of the textural properties of peel pectin gel (0.5 to 1%), with 119 °SAG, showed that the higher the pectin concentration, the higher breaking strength and elasticity of the gel.

RESUMEN

El mango mayagüezano es una fruta típica de la región oeste de Puerto Rico y ampliamente distribuida en toda la isla. Esta investigación propone utilizar el mango mayagüezano como fuente de pectina para darle valor agregado al fruto. Para este fin, se estudió el efecto que ejercen las condiciones de extracción con ácido clorhídrico sobre las propiedades de la pectina obtenida de pulpa y cascara de mango mayagüezano, teniendo como respuesta de interés el grado de esterificación de la pectina y el rendimiento del proceso de extracción. Las condiciones de extracción estudiadas fueron pH (1.5 y 3.0), temperatura (80 y 90°C) y tiempo (45 y 90 min). Los valores de rendimiento (g pectina/g material seco) encontrados varían de 4.93 al 18.51% para la cáscara y 3.85 a 12.33% para la pulpa. El pH afectó el rendimiento de manera negativa. Para el grado de esterificación los valores promedio varían de 71.52% al 96.63% para la pulpa, y 63.87% al 93.44% para la cáscara, en este caso el pH ejerce un efecto positivo.

En los espectros FTIR para las pectinas obtenidas de pulpa y cáscara, se encontró la presencia de ambas bandas, en 1650 cm⁻¹ los grupos carboxilos libres, y la banda de grupos carboxilos esterificados (1750cm⁻¹), lo cual explica su grado de esterificación. Con relación al estudio de la capacidad de gelificación mediante las medidas del rigelómetro y consistómetro, no se encontró relaciones significativas, excepto en el caso del consistómetro con el pH.

Al evaluar las propiedades texturales de un gel de pectina de cáscara de 119 SAG variando la concentración de pectina (0.5 – 1%) se encontró que a mayor concentración, mayor fuerza de ruptura y elasticidad del gel.

**Derechos de Autor Reservados ©
Pamela Cadavid Diago
2013**

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional en el alcance de mis sueños.

A mis abuelitos, porque son mis ángeles y la luz de mi vida.

Porque al final de todo, solo espero que estén orgullosos de mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios nunca está de más, gracias por darme la fuerza, energía y paciencia para cada día a día durante este proceso y en todas las etapas de mi vida.

A mis padres por darme la vida, por siempre apoyarme y ayudarme a alcanzar mis sueños. Este también es un logro para ustedes.

Al profesor Fernando Pérez Muñoz, por ser mi guía en este proceso, por su apoyo y disposición incondicional. Por sus grandes consejos como profesor, advisor, amigo y Papá en Puerto Rico. Gracias por escuchar mis locuras, apoyarme en ellas, y hacer que este proyecto fuera posible. Ha sido más que un orgullo ser su estudiante graduada y como cariñosamente me dice, “Hija”.

A la Dra. Edna Negrón, por todo su apoyo y por exigir siempre lo mejor de mí. A la Dra. Rosa Chávez, Dra. María Plaza por su ayuda académica, y facilitarme equipos y laboratorio para realizar mi tesis. A todos los profesores del programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por ayudarme a crecer académica y profesionalmente. A la Dra. Ivelisse Padilla por brindarme la oportunidad de ser Instructora de Laboratorio y abrirme las puertas en el camino de la docencia. Fue un placer y una experiencia inolvidable.

Al Dr. Samuel Hernández, del programa de Química por facilitarme el uso de su laboratorio, y su técnico de laboratorio, Leonardo Pacheco, por su ayuda en la elaboración de las pruebas.

A mis amigos de CITA, Diana Villamil, Aimee Montero, Luis Enrique Ruiz, Ariana Méndez, Luisenrique Molina, Eduardo Díaz, Iris Torres, María José Pérez, gracias por su compañía y por compartir conmigo esta loca experiencia. Siempre los llevare en mi corazón. A mis amigos, Lorena Maldonado y Paul Meza, por apoyarme y seguirme acompañando en mi crecimiento profesional, y por ser mis mejores amigos en Colombia, en Puerto Rico y en cualquier lugar del Mundo. Ustedes son y seguirán siendo mi familia. Desde cualquier punto terráqueo en donde estemos.

Al personal administrativo y técnico de CITA, Gloria Aguilar, Lani Montalvo, Jaime Reyes, Lilliam Cardona. Gracias por ayudarme y apoyar mis locuras y permitirme alegras sus días. Gracias por siempre recibirme con una sonrisa. Siempre los recordare.

A Roberto B., por tu apoyo, paciencia y cariño durante la última etapa de mi investigación.

A todas las personas que directa e indirectamente me apoyaron y ayudaron durante mi maestría y el desarrollo de esta investigación. Infinitas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	II
RESUMEN.....	III
AGRADECIMIENTOS	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE CUADROS	XI
LISTA DE ANEXOS	XII
1 INTRODUCCIÓN	2
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GENERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
3 REVISIÓN DE LITERATURA	6
3.1 MANGO (<i>MANGIFERA INDICA L.</i>)	6
3.1.1 ENFERMEDADES DEL MANGO.....	8
3.2 MANGO MAYAGÜEZANO	8
3.3 PECTINA.....	10
3.3.1 REGLAMENTACIÓN DEL USO COMO ADITIVO.....	11
3.3.2 APLICACIONES DE LAS PECTINAS.....	11
3.3.3 COMPOSICION DE LAS PECTINAS	14
3.3.4 TIPOS DE PECTINA	18
3.3.5 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE PECTINAS	20
3.3.6 PROPIEDADES DE LAS PECTINAS	22
3.3.7 FUENTES DE OBTENCIÓN DE PECTINAS	26
3.3.8 MECANISMOS DE GELIFICACIÓN.....	26
4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	29
4.2 MATERIA PRIMA:.....	31
4.2.1 SELECCIÓN Y MANEJO DE LA FRUTA:.....	31
4.2.2 ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA.....	31
4.3 EXTRACCIÓN DE PECTINA.....	32
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA.....	38
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
5.1 ANÁLISIS PROXIMAL.....	45
5.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN.....	46
5.2.1 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE PRE-TRATAMIENTO	46

5.2.2	RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN	47
5.3	CARACTERIZACIÓN	51
5.3.1	GRADO DE ESTERIFICACIÓN	51
5.3.2	CAPACIDAD DE GELIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE TEXTURA.....	54
5.4	ESPECTROSCOPIA DE INFRAROJO CON TRANSFORMADAS DE FOURIER	60
5.5	PROPIEDADES TEXTURALES DE GELES DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PECTINA.....	65
6.	CONCLUSIONES.....	68
7.	RECOMENDACIONES	71
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
9.	ANEXOS.....	79
	ANEXO A. CUADROS DE FACTORES DE CORRECCION PARA EL MÉTODO DEL GRADO DE GELIFICACIÓN (IFT, 1959)	79
	ANEXO B. CONDICIONES DEL EQUIPO EN LA PRUEBA DE MEDICION DE FUERZA DE RUPTURA Y ELASTICIDAD DE LAS GELES DE PECTINA	81
	ANEXO C. VALORES ARROJADOS POR MINITAB PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA RENDIMIENTO	82
	ANEXO D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL RENDIMIENTO.....	86
	ANEXO E. VALORES ARROJADOS POR MINITAB PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA GRADO DE ESTERIFICACIÓN	89
	ANEXO F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL GRADO DE ESTERIFICACIÓN	95
	ANEXO G. ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS DATOS DEL RIGELÓMETRO Y CONSISTÓMETRO	99
	ANEXO H. ESPECTROS DE INFRAROJO CON TRANSFORMADAS DE FOURIER (FTIR) PARA LAS PECTINAS DE PULPA Y CASCARA.....	101
	ANEXO I. FOTOGRAFIAS DEL PROCESO DE PRE-TRATAMIENTO Y EXTRACCIÓN	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mercado mundial de la aplicaciones de pectina para el año 2005 (Figura reproducida de Brejnholt, 2009)	12
Figura 2. Estructura Básica de la pectina: (A) Modelo convencional, y (B) nuevo modelo establecido (Willats, Knox, & Mikkelsen, 2006)	16
Figura 3. Sección de la cadena de ácido galacturónico con enlaces $\alpha(1 \rightarrow 4)$ parcialmente metilada en la posición C-6.(Brejnholt, 2009).....	17
Figura 4. Pectina con alto índice de metóxilo(Tharanathan, 2003)	18
Figura 5. Pectina con bajo índice de metóxilo(Tharanathan, 2003)	19
Figura 6. Pectina amídica con bajo índice metóxilo(Nguyen et al., 2011).....	20
Figura 7. Esquema general del proceso de producción de pectina	22
Figura 8. Rangos de esterificación de pectinas comerciales no amidadas, su clasificación y algunas aplicaciones (Tomado de Phillips & Williams, 2000).....	25
Figura 9. Gelificación en Pectinas de Alto Metóxilo a pH Bajo. (Jane, 2007).....	27
Figura 10. Mecanismo de gelificación de pectinas de bajo metóxilo(Munarin et al., 2012).....	28
Figura 11. Diagrama de proceso de preparación de residuos insolubles en alcohol.....	34
Figura 12. Diagrama del Proceso de Extracción de Ácido de Pectina a partir de residuos insolubles en alcohol (RIA)	37
Figura 13. Rigelómetro o equipo para medir la graduación de la pectina (Herbstreith & Fox, 2012)	40
Figura 14. Fotografías de las muestras y del Texturómetro.....	42
Figura 15. Gráficas para tres tipos de geles medidos mediante la prueba(Stable Microsystems Ltd, 2007)	43
Figura 16. Espectro de infrarrojo en pectinas, (a) Alto grado de esterificación (DE=71.13%), (b) Bajo grado de esterificación (DE=24.27) (Tomado de Liu et al., 2010).	61
Figura 17. Espectro FTIR de las pectinas obtenidas en la pulpa	62
Figura 18. Espectro FTIR para las pectinas obtenidas a partir de la cáscara.....	64

Figura 19. Gráfica de la prueba de fuerza de ruptura del gel para la corrida 13 variando las concentraciones de pectina en (a) 0.5%, (b) 0.7%, (c) 1%.	66
Figura 20. Variación de la fuerza de ruptura y elasticidad del gel con respecto a la concentración de pectina en el gel.....	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición típica de 100 g de pulpa comestible del mango	7
Cuadro 2. . Composición del mango Mayagüezano (Sánchez-Nieva et al., 1959, citado por Arocho, 2002)	9
Cuadro 3. Factores y niveles del diseño experimental.....	29
Cuadro 4. Combinaciones de factores para las corridas	30
Cuadro 5. Metodos de Análisis Proximal	32
Cuadro 6. Peso de pectina a ser usado para los diferentes grados (IFT, 1959)	40
Cuadro 7. Análisis Proximal Promedio para la materia prima, Cáscara y Pulpa de Mango Mayagüezano	45
Cuadro 8. Valores de Rendimiento para los diferentes tratamientos.....	47
Cuadro 9. Valores de rendimiento para cáscara y pulpa de mango en la investigación de Kratchanova et al., (1991).....	48
Cuadro 10. Valores promedio del grado de esterificación (DE) para los diferentes tratamientos	51
Cuadro 11. Valores de grado de gelificación para las pectinas obtenidas medidos en términos de grados SAG.....	55
Cuadro 12. Valores de grado de gelificación para las pectinas obtenidas medidos en términos de desplazamiento para el consistómetro de Bostwick.....	56
Cuadro 13. Valores de fuerza del gel para cáscara de mango a 45 min de tratamiento, para la investigación de Hussain et al., (1991)	58
Cuadro 14. Resultados del análisis de correlación de Pearson para los instrumentos consistómetro y rigelómetro	59
Cuadro 15. Observaciones encontradas en los espectros FTIR para las pectinas obtenidas de pulpa.....	63
Cuadro 16. Observaciones encontradas en los espectros FTIR para las pectinas obtenidas de cáscara.....	65
Cuadro 17. Datos de fuerza de ruptura y Elasticidad para la pectina de Cáscara (corrida 13%) a concentraciones de 0.5%, 0.7%, y 1% de pectina.....	67

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CUADROS DE FACTORES DE CORRECCION PARA EL METODO DEL GRADO DE GELIFICACION (IFT, 1959)	79
ANEXO B. CONDICIONES DEL EQUIPO EN LA PRUEBA DE MEDICION DE FUERZA DE RUPTURA Y ELASTICIDAD DE LAS GELES DE PECTINA	81
ANEXO C. VALORES ARROJADOS POR MINITAB PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA RENDIMIENTO	82
ANEXO D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL RENDIMIENTO.....	86
ANEXO E. VALORES ARROJADOS POR MINITAB PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA GRADO DE ESTERIFICACIÓN	89
ANEXO F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL GRADO DE ESTERIFICACIÓN	95
ANEXO G. ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS DATOS DEL RIGELÓMETRO Y CONSISTÓMETRO	99
ANEXO H. ESPECTROS DE INFRAROJO CON TRANSFORMADAS DE FOURIER (FTIR) PARA LAS PECTINAS DE PULPA Y CASCARA.....	101
ANEXO I. FOTOGRAFIAS DEL PROCESO DE PRE-TRATAMIENTO Y EXTRACCIÓN	105

1 INTRODUCCIÓN

La producción y consumo de frutas exóticas ha aumentado significativamente tanto en los mercados locales como internacionales. Este aumento se debe a sus atractivas propiedades sensoriales y a una mayor concientización de su valor nutricional y terapéutico (Ayala-Zavala et al., 2011). Al aumentar la producción también aumentan los problemas ambientales debido al gran número de desechos por pérdidas en post-cosecha y transporte, y los subproductos generados a partir de uso industrial de dichas frutas para la producción de pulpas, jugos y demás productos de fruta.

Según la FAO¹ (2011) la producción mundial de frutas tropicales estuvo alrededor de las 82.2 millones de toneladas para el 2009, siendo el mango la variedad dominante con una producción mundial de 31.7 millones de toneladas, equivalente al 39% de la producción mundial de frutas tropicales. En Puerto Rico se producen diferentes variedades, especialmente en la región Oeste donde se cultiva la variedad *Mayagüezano*, la cual figuró junto con el mango *pasote*, con 5,174 millares de fruto producido para el periodo 2008-2009, y 6,233 millares de fruto para el periodo preliminar 2009-2010 (Depto. de Agricultura de Puerto Rico, 2010).

La industria del procesamiento de alimentos busca constantemente nuevas fuentes de materia prima para la creación de productos con mejores propiedades nutritivas y características sensoriales agradables al consumidor. Esta búsqueda se orienta actualmente en el aprovechamiento total de los recursos naturales disponibles, tal como el estudio de nuevas

¹ FAO Committee on commodity problems.

² JECFA - Joint Food and Agriculture Organization and World Health Organization Experts Committee on Food

fuentes naturales o el uso de subproductos de otros procesos, buscando la disminución de la contaminación y la reducción de costos.

Un ejemplo de esta búsqueda de nuevas fuentes es la obtención de pectinas, insumo importante en la industria de alimentos como gelificante, espesante, texturizante, emulsificante y estabilizante. A nivel industrial, la pectina se obtiene mediante extracción ácida principalmente a partir de la cáscara de cítricos y bagazo de manzana produciendo rendimientos de 15% y 30% en base seca, respectivamente. (Endress & Mattes, 2009) En investigaciones recientes se han estudiado como fuentes la cáscara de maracuyá (Kliemann et al., 2009; Kulkarni & Vijayanand, 2010; Pinheiro et al., 2008; Yapo et al, 2006; Yapo, 2009a), cacao (Barazarte et al., 2008; Vriesmann et al., 2011), soya (Kalapathy & Proctor, 2001; M. A. Monsoor, 2005), guineo (Happi Emaga et al. , 2008; Yapo, 2009b; Qiu et al., 2010;), y otros subproductos.

La obtención de pectina a partir de cáscara de ciertas variedades de mango ha sido ampliamente estudiada (Berardini et al, 2005; Hussain et al, 1991; Koubala et al., 2008; Sirisakulwat et al., 2008) resultando en pectinas con capacidades de gelificación y características óptimas comparadas con las pectinas producidas a nivel industrial a partir de cítricos y manzana. El presente proyecto de investigación propone investigar la pulpa del mango mayagüezano como fuente de obtención de pectina; buscando aprovechar una fruta típica de la región oeste de la Isla de Puerto Rico, la cual es poco valorada actualmente por su pulpa fibrosa no agradable para el mercado y por la susceptibilidad del fruto a la antracnosis. Esta propuesta de utilización de la cáscara y la pulpa del mango como precursor para la obtención de pectinas genera la necesidad de estudiar el efecto de las condiciones de extracción sobre las propiedades de las pectinas obtenidas, teniendo como respuesta de interés la calidad de la pectina y el rendimiento del

proceso de extracción. La calidad de la pectina se caracterizará mediante pruebas de grado de esterificación y grado de gelificación (Jelly Grade).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto que ejercen las condiciones de extracción (pH de la solución extractora, temperatura, tiempo de extracción, y fracción seleccionada – pulpa o cáscara) sobre las características fisicoquímicas de la pectina contenida en la cáscara y la pulpa del mango mayagüezano (*Mangifera indica L.*).

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar la composición química parcial de la fruta (análisis proximal)
- Evaluar el rendimiento del proceso de pre-tratamiento y extracción de pectinas a partir de cáscara y pulpa
- Estudiar las características de grado de esterificación y grado de gelificación de la pectina obtenida
- Evaluar las propiedades texturales (fuerza de ruptura y elasticidad) de las geles de las pectinas obtenidas
- Detección e identificación de grupos carboxilos libres y esterificados en las pectinas obtenidas mediante Espectroscopía de Infrarrojo con transformadas de Fourier (FTIR)

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 MANGO (*Mangifera indica* L.)

El mango, perteneciente a la familia *Anacardiaceae*, es un árbol frutal popular originario de la India y cultivado en climas tropicales cuyo fruto es altamente consumido a nivel mundial.

El árbol de mango es de tamaño mediano a grande cuya altura varía desde 8 hasta 30 m, con un tronco hasta de 0.91 m de diámetro, y copa densa y redonda. Tiene de hojas grandes, coriáceas, de color verde oscuro y forma ligeramente oblonga con puntas largas que cuelgan en racimos conspicuos de color castaño rojizo cuando salen por primera vez. Produce numerosas flores pequeñas, de color verde amarillento a rosado, de 5 partes, como de 0.635 cm, en racimos terminales grandes y vistosos de los cuales cuelga el fruto, grande, elíptico y de color amarillo, con pulpa comestible y una semilla grande rodeada por una masa fibrosa (Little, 2001).

Las mejores condiciones de cultivo para el mango son suelos ligeramente ácidos (pH entre 5.5 y 7.5), altitudes menores de 1400 m sobre el nivel del mar y temperaturas de 75 a 81°F (Anon, 1984); razones por las cuales el mango fue traído a América durante la exploración y conquista del Nuevo Mundo en los siglos XV y XVIII por portugueses, españoles, británicos y franceses. Se adaptó fácilmente en los terrenos de la isla de Puerto Rico.

Los países con mayor producción de mango son India, China, Tailandia, México, Indonesia, Filipinas, Nigeria, Pakistán, Guinea, y Brasil. Los países con mayor importación son USA, Países Bajos, Emiratos Árabes, Arabia Saudita y Bangladesh con valores de US \$703.9 millones (Janick & Paull, 2008). En América la producción de mango, mangostino y guayaba

para el 2010 fue 4,574,182 toneladas, equivalente al 12.32% de la producción mundial, de los cuales Puerto Rico aportó 12,652 toneladas (FAOSTAT, 2012).

El mango maduro es una fuente esencial de vitaminas y minerales. La pulpa es rica en β – caroteno (precursor Vitamina A) y Vitamina C. También contiene tiamina, niacina, calcio, fósforo, hierro, y es una excelente fuente de potasio. Tiene un alto contenido de fibra y es bajo en grasa. En el cuadro 1 se compiló la composición nutricional del mango.

Cuadro 1. Composición típica de 100 g de pulpa comestible del mango (USDA, 2012)

Análisis Proximal	Valor	Unidades
Humedad	83.46	g
Energía	60	kcal
Proteína	0.82	g
Grasa	0.38	g
Carbohidratos (Por diferencia)	14.98	g
Fibra Dietaria Total	1.6	g
Azúcares Totales	13.66	g
Minerales		
Calcio,	11	mg
Potasio	168	mg
Fósforo	14	mg
Hierro	0.16	mg
Magnesio	10	mg
Vitaminas		
Tiamina	0.028	mg
Riboflavina	0.038	mg
Niacina	0.669	mg
Vitamina C (Ácido Ascórbico total),	36.4	mg
Vitamina E (alfa-tocoferol)	0.90	mg
Vitamina A (IU)	1082	IU
Vitamina B-6	0.119	mg
Folato (DFE)	43	μ g

3.1.1 ENFERMEDADES DEL MANGO

El mango sufre de varias enfermedades que afectan sus hojas, flores y frutas, principalmente debido a hongos y bacterias. El más común es la antracnosis, causado por tres tipos de hongo, pero el principal causante es *Colletotrichum gloeosporioides*. Esta enfermedad causa la mayoría de problemas de pre-cosecha y post-cosecha, causando daño en el follaje e inflorescencia, e incluso en el fruto maduro. Sus síntomas aparecen luego de maduración, por lo cual es poco detectable en fruto no maduro debido a que el fruto verde contiene altos niveles de compuestos anti-fúngicos cuya concentración disminuye con la maduración del fruto permitiendo el daño por hongos(Arocho Y., 2002). Los daños en el fruto maduro se perciben como pequeñas manchas marrones que al madurar el fruto se esparcen en toda su superficie, y también se internalizan en la pulpa y semilla.

3.2 MANGO MAYAGÜEZANO

En Puerto Rico se producen muchas variedades de mango, y en la región oeste del país se cultiva la variedad *Mayagüezano*, la cual figura junto con el mango Pasote en el puesto 44 de las estadísticas del valor de producción agrícola en orden de importancia con \$665,000 para el año 2009-2010 (Departamento de Agricultura de Puerto Rico, 2012). Esta variedad de mango no es producido comercialmente, creciendo en las laderas de las carreteras y terrenos baldíos. Su uso se limitó al consumo local debido a la introducción de variedades extranjeras lo cual acabó su aplicación comercial y, por ende, disminuyó el interés de estudiar el cultivo y propiedades nutricionales.

El mango mayagüezano ha sido poco estudiado. Arocho (2002) en su investigación citó que Sein, (1935) describió el fruto como un mango de tamaño mediano (125-250g), de colores llamativos y muy fibroso. Arocho(2002)en su investigación estableció que el mango mayagüezano es un fruto de tamaño relativamente pequeño, con 22.45% de cáscara, 52.14% de pulpa comestible fibrosa y 25.41% de semilla. También Arocho en su investigación se refirió a Sánchez-Nieva et al., (1959), autor que analizó la composición del mango mayagüezano, cuyos sus resultados se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición del mango Mayagüezano (Sánchez-Nieva et al., 1959, citado por Arocho, 2002)

Pulpa comestible, %	65.56
Acidez total (Ácido Cítrico, %)	0.3662
Ácido ascórbico (mg/100mg)	40.0
Azúcares reductores, %	6.0
Azúcares totales, %	13.73
Sólidos solubles, °Brix	16.7
pH	4.2

A pesar de su pulpa fibrosa y tamaño pequeño, Benero & Rodríguez (1971)) estudiaron un método para extraer pulpa no diluida de mangos sin pelar. Ellos utilizaron mangos Mayagüezano para la preparación de néctares de alta calidad, conservas, mermeladas y pasta debido a su relativa abundancia y disponibilidad, y gran aceptación por su sabor.

3.3 PECTINA

La pectina es un hidrocoloide natural presente en la pared celular de las plantas terrestres. Este polisacárido de alto peso molecular tiene la propiedad de atrapar agua en su estructura a bajos pH o en presencia de cationes divalentes, sin disolverse en el agua. Es por esta propiedad que es usado en muchas aplicaciones en la industria de alimentos, como gelificante, espesante, aglutinante y estabilizante. Se utiliza para crear o modificar la textura y viscosidad de compotas, jaleas, mermeladas y jugos de fruta, productos lácteos bajos en grasa, helados, confitería y alimentos untables. Por sus propiedades para formar hidrogeles recientemente se está explorando su uso para aplicaciones biomédicas: suministro de drogas (drug delivery), suministro de genes (gene delivery), cicatrización de tejidos e ingeniería de tejidos (Munarin, Tanzi, & Petrini, 2012).

Además de su uso como aditivo es un componente de la fibra dietaría soluble necesaria para el tránsito intestinal correcto. Según Pilnik, (1990), en la dieta normal diaria occidental se consumen alrededor de 4-5 g pectina. Al ser ingerido en frutas y vegetales ayuda a bajar los niveles de colesterol y glucosa, y puede tener actividad anticancerígena (Behall & S. Reiser, 1986; Yamada, 1996). Olano-Martin et al. (2003) encontró que la pectina y los oligosacáridos pécticos son beneficiosos al inducir apoptosis en células de adenocarcinoma de colón humano. La pectina juega un papel importante en la maduración de frutas y vegetales, ya que a medida que la fruta va madurando las enzimas pectinolíticas (el complejo de enzimas metilpectinesterasas, glicosidasas, indo- y exo-poligalacturonasas) va degradando las unidades de protopectina (forma de pectina nativa presente en la fruta).

Industrialmente, la pectina se produce a partir de cáscaras de frutas cítricas, especialmente naranja, toronja y limón, bagazo de manzana y en menor proporción de pulpa de remolacha. Esto se basa en que aunque se encuentra presente en la mayoría de tejidos celulares, sus propiedades gelificantes son regidas principalmente por la fuente de obtención y por el tipo de tratamiento. Es por esto que los productores de pectina usan las fuentes disponibles como son los subproductos de la industria de jugos, ya que pueden obtener pectinas con las características deseadas para su uso.

3.3.1 REGLAMENTACIÓN DEL USO COMO ADITIVO

Tanto la FAO, FDA y la Unión Europea han catalogado la pectina como un aditivo alimenticio seguro sin contraindicaciones toxicológicas aprobado para un amplio rango de usos, y se les otorgó un valor de ingesta diario no especificado por comités expertos internacionales de la JECFA² ((1984) y SCF³. En la Unión Europea su codificación como ingrediente de alimentos funcionales es E440. FDA⁴ lo cataloga como aditivo “generally recognized as safe”, lo cual reconoce la seguridad de su uso.

3.3.2 APLICACIONES DE LAS PECTINAS

En la Figura 1 se observa la distribución del mercado mundial de las aplicaciones de pectina para el año 2005 las cuales se clasifican en nueve categorías:

- Panadería: incluye pan, tortas y demás productos de repostería

²JECFA - Joint Food and Agriculture Organization and World Health Organization Experts Committee on Food Additives <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/es/>

³ SCF - Comité Científico de la Unión Europea para Alimentos http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/index_en.html

⁴ FDA – Food and Drugs Administration <http://www.fda.gov/>

- Alimentos Misceláneos: incluye mayonesas, salsas, preparaciones para carnes
- Lácteos: incluye yogures y postres lácteos
- Confitería: gomitas y productos dulces
- Usos Farmacéuticos y de cuidado personal: los usos medicinales y cosméticos
- Bebidas de Fruta: Refrescos, licores y demás bebidas a base de fruta
- Productos de Fruta: aplicaciones en conservas y yogures con frutas
- Bebidas Lácteas Acidificadas: incluye bebidas lácteas
- Productos altos en azúcar, bajos en azúcar y jaleas de panadería: abarca la aplicación más tradicional de pectinas: jaleas, Mermeladas y rellenos para productos de panadería.

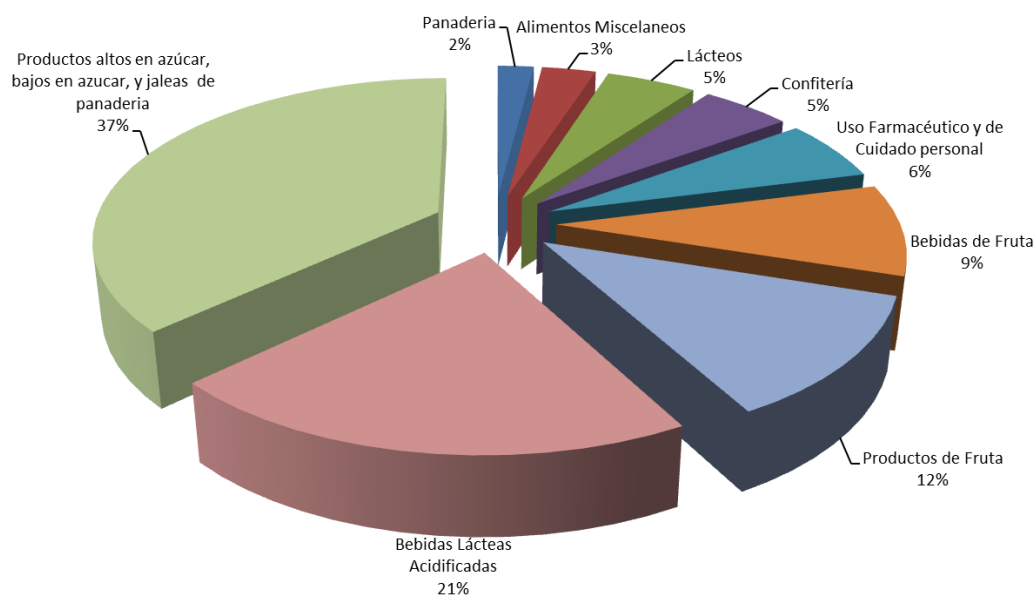


Figura 1. Mercado mundial de la aplicaciones de pectina para el año 2005 (Figura reproducida de Brejnholt, 2009)

Endress & Mattes, (2009) resumió las aplicaciones de las pectinas en alimentos y la concentración usada de pectina en cada uno de ellos.

- Jaleas y mermeladas: son productos con alto contenido de azúcar. Para que el azúcar actúe como preservativo (a_w bajo), la concentración de sólidos debe estar alrededor de 62°Brix. En estos productos se usa pectina de alto metóxilo en dosis de 0.1 a 0.4%, dependiendo del tipo de fruta utilizada. Las propiedades del gel formado van a depender del contenido de sólidos y el pH del producto. Para jaleas bajas en azúcar se usa pectina de bajo metóxilo o pectinas amidadas en concentraciones de 0.6 a 1.2%, dependiendo del contenido de azúcar.
- Confitería y rellenos para pastelería: para rellenos de pastelería con frutas se usa pectina de alto metóxilo al 1.5%. Para rellenos con frutas y lácteos se usan pectinas de bajo metóxilo del 0.5 a 1.5% para mantener la sensación bucal y prevenir la sinéresis. En gomas y gelatinas se usa pectina de alto metóxilo de 1.3 a 1.7% para gelatinas y 2.5% para gomitas.
- Productos Lácteos: se usa pectina de bajo metóxilo para mejorar la firmeza, sensación bucal y la estabilidad. Se trabaja en dosis de 0.2% en productos bajos en grasa o sin grasa como yogures, queso fresco, etc. La pectina de alto metóxilo estabiliza proteínas en condiciones ácidas en bebidas lácteas, smoothies de yogurt y bebidas de soya. La cantidad de pectina depende del contenido de proteína y el pH del producto.
- Bebidas y Sorbets: Las pectinas de alto metóxilo mejoran la viscosidad y la sensación bucal en bebidas bajas en calorías con concentraciones de 0.1%; lo que también estabiliza las partículas de pulpa de jugos. Como es estable a condiciones ácidas, se podría considerar para la fabricación de bebidas enriquecidas con fibra soluble, logrando que contengan hasta 3% de fibra soluble sin que se note el alto contenido de fibra. En los Sorbets, la pectina controla el crecimiento de cristales de hielo grandes, para lo cual se usa una concentración de 0.5%.

- Salsas y productos esparcibles: En el proceso de fabricación de ketchup y salsa de tomate se usan entre 0.6 y 1% de concentración de pectinas de alto metóxilo y bajo metóxilo, para espesar el producto. La pectina puede espesar la fase acuosa de productos esparcibles bajos en grasa para estabilizar la emulsión.
- Productos horneados y de cereales: Debido a su propiedad de atrapar agua en su red, la pectina se usa en este tipo de productos para controlar la pérdida de humedad, el endurecimiento y aumentar el largo de vida. Se usan concentraciones de 0.1% de pectina de alto metóxilo. También se usa en pastas y productos cereales para aumentar el contenido de fibra soluble.

3.3.3 COMPOSICION DE LAS PECTINAS

La relación entre estructura y funcionalidad de las pectinas es la continua motivación a un mejor conocimiento de las estructuras con el fin de optimizar el proceso de producción para los diferentes usos que tiene este material, tanto para conocer el material ya extraído como para modificar la pectina en la planta (Munarin et al., 2012). Las pectinas constituyen un grupo heterogéneo de polisacáridos ácidos de origen vegetal de alto peso molecular cuyo azúcar estructural es el ácido galacturónico que va a estar ligeramente metilado en sus grupos carboxilos. En algunos puntos de la estructura existe otro azúcar, la ramnosa, la cual provoca la formación de codos pépticos doblando el polímero de ácido galacturónico. Además, contiene azúcares (monosacáridos) neutros como la arabinosa, galactosa y xilosa. En la estructura de

pectinas amidadas, las cuales se obtienen formando amidas con amoníaco en algunos de los grupos carboxilo de pectinas de bajo metóxilo, se encuentran ácidos galacturónicos amidados.

El modelo convencional establece que la molécula de pectina está constituida por 3 zonas o dominios: homogalacturonanos (HGA), ramnogalacturonanos I (RG-I), y ramnogalacturonanos II (RG-II). Los homogalacturonanos (HGA) son polímeros lineales de ácido galacturónico con enlaces α (1 $\rightarrow$ 4) y por lo general contienen alrededor de 100 a 200 unidades de ácido galacturónico (GalU). Algunas de estas unidades están esterificadas con metanol. Este es el esqueleto de la pectina y equivale a un 70% -80% de la masa total de la pectina.

En la Figura 2(A) se observan los tres dominios. El nuevo modelo (figura 2-B) propone que la zona de homogalacturonanos (HG) es una cadena lineal de RG-I (Vincken et al., 2003).

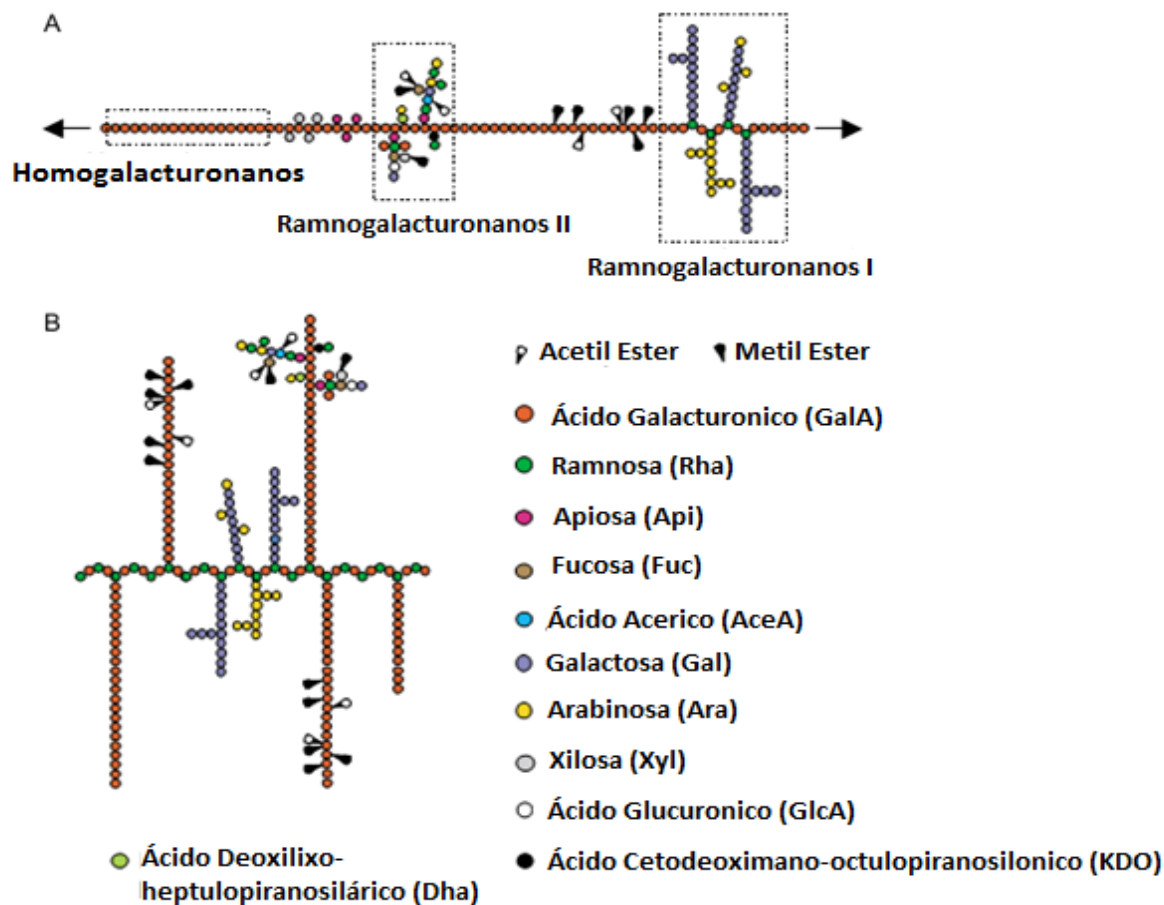


Figura 2. Estructura Básica de la pectina: (A) Modelo convencional, y (B) nuevo modelo establecido (Willats, Knox, & Mikkelsen, 2006)

Además de la esterificación o metilación del grupo carboxilo del C-6 (Carbono 6), las unidades de ácido galacturónico (GalU) también pueden estar *O*-acetiladas en el C-3 y algunas veces en el C-2. En plantas cítricas, muy pocos grupos acetilados están presentes, a diferencia de algunas plantas específicas como las papas y las raíces de remolacha, donde la acetilación ocurre frecuentemente (Brejnholt, 2009). En la Figura 3 se observa una sección de la cadena de ácido galacturónico parcialmente metilada.

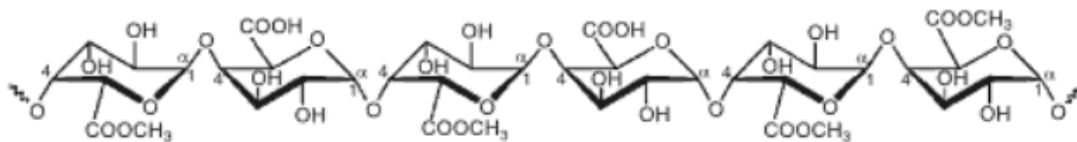


Figura 3. Sección de la cadena de ácido galacturónico con enlaces $\alpha(1 \rightarrow 4)$ parcialmente metilada en la posición C-6.(Brejnholt, 2009)

Este esqueleto puede estar interrumpido por zonas de ramnogalacturonanos I (RG-I) las cuales son muy diversas y ramificadas y están constituidas por moléculas de ramnosa unidas por enlaces glucosídicos a las unidades de ácido galacturónico (GalU) formando el disacárido (1 $\rightarrow$ 2) - α -L-ramnosa-(1 $\rightarrow$ 4) - α -D- ácido galacturónico. De estos disacáridos se forman cadenas laterales de azúcares neutros (alrededor de 50) cuyas composiciones dependen del tipo de planta precursora, principalmente *L*-arabinosa y *D*-galactosa.

La estructura de la zona RG-II es altamente compacta y está compuesta por un esqueleto de HG con alrededor de 9 unidades de ácido galacturónico enlazadas a cuatro cadenas laterales poliméricas estructurales diferentes. Además de ramnosa, las cadenas laterales contienen alrededor de 11 azúcares menos comunes, que incluyen apiosa, 3-*O*-metil-1-fucosa, 2-*O*-metil-d-xilosa, 3-C-carboxi-5-deoxi-1-xilosa (ácido acérico), 3-deoxy-D-manno-ácido octulosónico (KDO) y 3-deoxi-D-ácido lixoheptulosárico (O'Neill et al., 2004).

La zona RG-I y RG-II son conocidas como “las zonas ramificadas” (o “hairyzone” en inglés) y las ramificaciones sobre el azúcar ramnosa que pueden ser de cuatro tipos: Cadenas lineales de galactosa, cadenas ramificadas de arabinosa, cadenas lineales de galactosa con alguna ramificación de arabinosa, y cadenas ramificadas de galactosa con alguna arabinosa.

3.3.4 TIPOS DE PECTINA

Industrialmente las pectinas se clasifican principalmente en 3 tipos, o grupos, según sus propiedades de gelificación asociadas al grado de esterificación o sustitución de los grupos metilo que se encuentran esterificando los carboxilos de las pectinas.

1. **Pectina con alto índice de metóxilo:** Contiene más de 50% de unidades de ácido galacturónico esterificadas, por lo que no reaccionan con iones de calcio. Su capacidad de gelificación depende de la cantidad de sólidos solubles (mayor de 60%) y acidez del medio (pH menor de 3.4).(Endress & Mattes, 2009) En la Figura 4 se observa la estructura de una pectina con alto índice de metóxilo y la presencia de los grupos carboxilos esterificados.

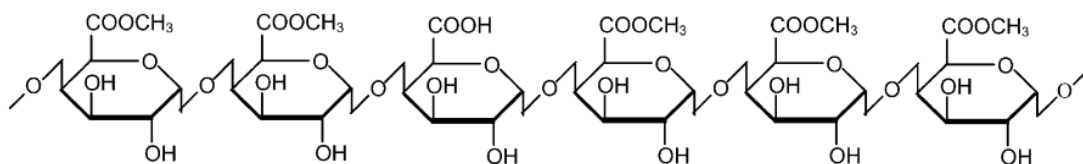


Figura 4. Pectina con alto índice de metóxilo (Tharanathan, 2003)

2. **Pectina con bajo índice de metóxilo:** Contienen menos del 50% de unidades del ácido galacturónico esterificadas (grado de esterificación < 50%). Para formar geles necesitan menor cantidad de sólidos solubles e iones divalentes (mayormente calcio). Se usan en productos bajos en calorías, ya que además de usarse con sacarosa, se puede aplicar con diferentes azúcares (fructosa o sustitutos de azúcar). Su rango de pH para gelificar es mayor,

requiere pH entre 2 y 7, y pueden gelificar en presencia de azúcar o no (Yapo & Koffi, 2006).

El grado de esterificación de estas pectinas controla la reactividad con iones de calcio. A menor grado de esterificación, se requiere menor cantidad de calcio. Su aplicación es diversa, incluyendo jaleas y mermeladas de bajo contenido de azúcar, postres lácteos (donde no se necesita adición de sales de calcio), geles y recubrimientos de frutas usados en helados, y como agente espesante en sirups de fruta y vegetales enlatados (Lopes da Silva & Rao, 2006). En la Figura 5 se aprecia la estructura de una pectina con bajo índice de metóxilo.

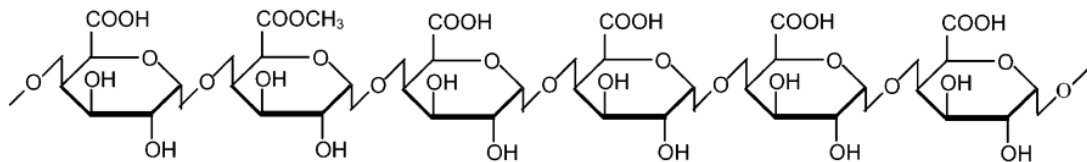


Figura 5. Pectina con bajo índice de metóxilo (Tharanathan, 2003)

3. **Pectina amídica con bajo índice metóxilo:** Son pectinas de-esterificadas con amoníaco mediante un tratamiento posterior a su extracción. Al realizar la de-esterificación para modificar la capacidad de gelificación de esta pectina, una porción de los grupos éster es remplazado con grupos amida (típicamente alrededor de 15-18%). Es por esta modificación que esta pectina tolera más variación en el contenido de calcio, y además le otorga mayor termo-reversibilidad a los geles (Lopes da Silva & Rao, 2006).

Por sus características para obtener productos con alto o bajo pH y en un amplio rango de sólidos solubles entre 10 y 80%, se utiliza en productos como preparaciones de frutas con

bajo contenido calórico, agentes gelificantes para el hogar, jaleas de frutas para yogurt, salsas delicatessen, etc.

En la Figura 6 se observa la estructura de una pectina amidada y la presencia de los grupos carboxilo amidados.

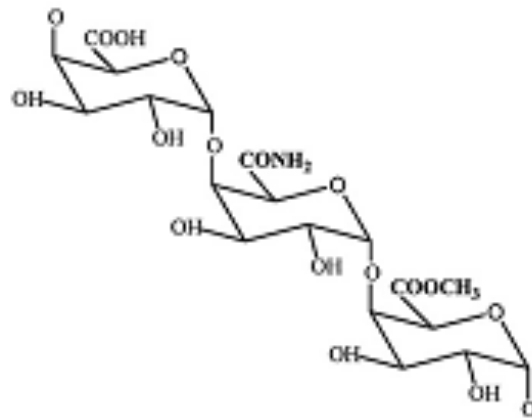


Figura 6. Pectina amídica con bajo índice metóxilo (Nguyen, et al. 2011).

3.3.5 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE PECTINAS

Existen varios métodos para la extracción de pectina a partir de tejidos vegetales, los cuales se basan en procedimientos físico-químicos, microbiológicos o enzimáticos. Los procedimientos más utilizados a nivel industrial son las extracciones por hidrólisis ácida con tratamiento térmico y subsecuente precipitación en un solvente orgánico. Hace ya algunos años que la investigación sobre el uso de las técnicas microbiológicas y enzimáticas ha avanzado, pero a escala de laboratorio. También se pueden obtener pectinas usando como extractor un agente quelante, tal como EDTA (Barazarte et al., 2008).

Manipulando las condiciones de extracción y tratamientos posteriores a partir de una misma materia prima se pueden obtener amplias variedades de pectina con propiedades y aplicaciones específicas para cada una. Estas manipulaciones permiten obtener altos rendimientos y pesos moleculares.

En la Figura 7 se observa un esquema general del proceso de producción de pectinas. En la etapa 1 o Preparación de materia prima se realizan las diferentes adecuaciones de la fruta o de la cáscara para que la extracción sea óptima. Estas incluyen el lavado del precursor, la disminución de tamaño, y algún pre-tratamiento (calentamiento con agua de la cáscara para inactivar enzimas o enjuague con ácidos para inducir el rompimiento de la pared celular y aumentar el rendimiento del proceso), y el secado de la materia prima. En la etapa de Extracción se realiza hidrólisis ácida con soluciones acuosas de ácidos orgánicos (acético, cítrico, láctico, málico, tartárico) o ácidos minerales (ác. clorhídrico, nítrico, fosfórico y sulfúrico, etc.) (Kertesz, 1951). Se manipulan los factores tales como tiempo, temperatura, relación precursor/extractor y pH, dependiendo del tipo de pectina a obtener. Luego, la precipitación se realiza con alcohol (FAO/WHO Expert Committee on food additive, 2007)⁵. En la etapa de Purificación se realiza un lavado para eliminar impurezas como restos de ácido o alcohol, y después se seca el producto obtenido, sea pectinas de alto metóxilo o bajo metóxilo, y se disminuye de tamaño mediante molienda (polvo), o se puede obviar el secado y obtener una pectina líquida. Si se desea una pectina amídica se le realiza una etapa de contacto con amoníaco previo al secado y molienda.

⁵ FAO/WHO Expert Committee for Additives permite solo metanol, etanol o isopropanol

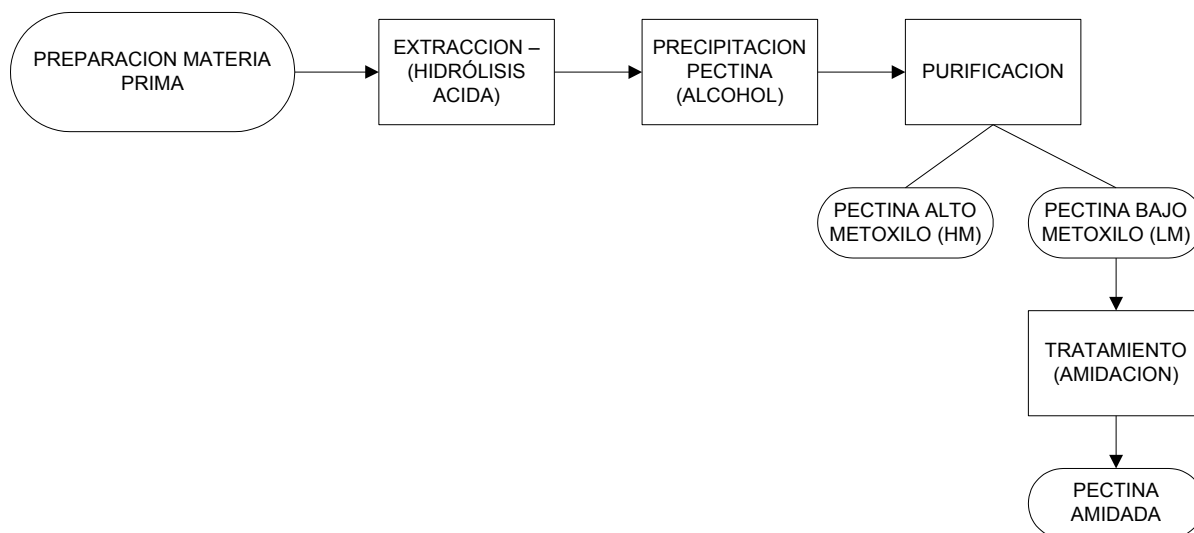


Figura 7. Esquema general del proceso de producción de pectina

3.3.6 PROPIEDADES DE LAS PECTINAS

Las propiedades de las pectinas pueden variar según la materia prima empleada y las condiciones de su extracción. Las propiedades más importantes son las siguientes:

- **Grado de gelificación (Jelly Grade):** Es una medida de la capacidad de la pectina de formar geles. Se define como la cantidad de azúcar en gramos con la cual un gramo de pectina forma un gel de firmeza estándar, bajo condiciones también controladas de acidez y sólidos solubles. Los gramos de azúcar requeridos para formar el gel se expresa como grados SAG (Giraldo & Celina, 1991). Las pectinas comerciales de alto metóxilo tienen grados de gelificación entre 150 y 300° SAG, lo cual significa que se necesita menor cantidad de pectina (1g) para gelificar una alta cantidad de azúcar (150 a 300g).

Srirangarajan & Shrikhande, (1977) encontraron que las pectinas obtenidas a partir de cáscaras de mango tienen grados de gelificación alrededor de 200° SAG y forman geles de propiedades similares a pectinas del mismo grado de gelificación obtenidas industrialmente a partir de manzana. Esta propiedad se basa en que la pectina es el agente formador del gel, mientras que los sólidos (azúcar) y el ácido son los agentes modificadores que logran la transformación física de esta, convirtiendo el jarabe en gel (Ramirez, 1980).

Para la gelificación de las pectinas de alto metóxilo es necesario un pH inferior a 3.5 para que los grupos ácidos se encuentren no disociados y puedan formar puentes de hidrógeno. Además es necesaria una concentración de sólidos solubles mayor al 60% para que se favorezcan las interacciones hidrofóbicas. La mermelada es un ejemplo claro de todo esto, es ácida, tiene alta concentración de azúcares, y por ello está en estado gel. Para elaborar estos geles, se solubiliza la pectina con calentamiento y al enfriar se gelifica.

- **Grado de esterificación (GE):** Se define como el porcentaje (%) de grupos carboxilos esterificados por cantidad total de grupos carboxilos de la pectina. Permite determinar la capacidad de gelificación de la pectina y su aplicación.
- **“Ultra Rapid set” o gelificación Ultra-rápida:** Su grado de esterificación es de 74-77%. Se utilizan en la elaboración de jaleas y productos lácteos acidificados porque su tiempo de gelificación es de 1 a 3 min.

- **“Rapid set” o gelificación rápida:** Su grado de esterificación es de 71-74%. Se utilizan en la elaboración de jaleas y mermeladas porque su tiempo de gelificación es de 3 a 7 min.
- **“Medium rapid set” o gelificación media:** con un grado de esterificación del 66 a 69% y tiempo de gelificación entre 15 y 25 min. Se usa en preparaciones de jaleas ácidas y confitería.
- **“Slow set” o gelificación lenta:** con un grado de esterificación entre 58 y 65% y tiempo de gelificación entre 30 y 120 min. Se usa en preparaciones de jaleas ácidas.

Para pectinas amidadas de bajo metóxilo está la clasificación por su reactividad con iones de calcio:

- **Pectina rápida:** Posee alta reactividad con iones calcio. Contiene un grado de esterificación aproximadamente del 30% y un grado de amidación del 20%.
- **Pectina media:** Posee una reactividad media con iones calcio. Contiene un grado de esterificación aproximadamente del 32% y un grado de amidación del 18%.
- **Pectina lenta:** Posee una reactividad baja con iones calcio con respecto a la pectina media. Contiene un grado de esterificación aproximadamente del 35% y un grado de amidación del 15%.

También existen los pectatos o sales de ácido pécticos desmetoxilados con poco poder de gelificación (Giraldo & Celina, 1991). En la Figura 8 se observa una escala de grados de esterificación, sus respectivas divisiones en pectinas de alto metóxilo y bajo metóxilo, y

las clasificaciones comerciales de las pectinas de alto metóxilo (“Slow set” y “rapid set”) y sus respectivas aplicaciones.

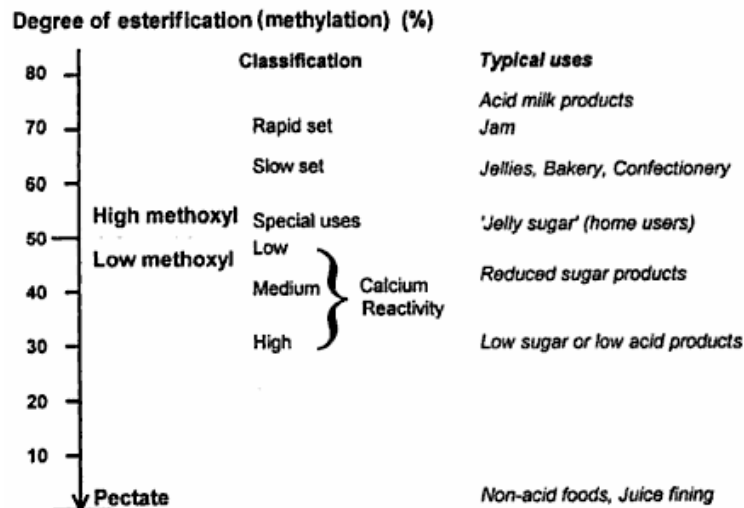


Figura 8. Rangos de esterificación de pectinas comerciales no amidadas, su clasificación y algunas aplicaciones (Tomado de Phillips & Williams, 2000)

- **Viscosidad del gel:** Mide la viscosidad (resistencia de un líquido a fluir) del gel elaborado a partir de la pectina obtenida. Concentraciones diferentes de azúcares o calcio, al igual que el pH, afectan la viscosidad de los geles o soluciones de pectina.
- **Solubilidad:** Las pectinas son solubles en soluciones acuosas lo que permite la elaboración de geles y sustancias viscosas.

3.3.7 FUENTES DE OBTENCIÓN DE PECTINAS

A nivel industrial la pectina se produce a partir de cáscaras de frutas cítricas, especialmente naranja, toronja y limón, bagazo de manzana y en menor proporción de pulpa de remolacha. Se puede producir también a partir de cualquier tejido vegetal, ya que las protopectinas, que son un material insoluble que se encuentra unido a otros componentes de la pared celular de los tejidos vegetales como la celulosa o la hemicelulosa, a medida que la fruta se madura, se va solubilizando y se transforma en pectinas por la acción de la enzima pectinmetilesterasa (Gaviria & Lopez, 2005).

Aunque la mayoría de los tejidos vegetales contienen pectina, su producción industrial se limita a sólo algunas fuentes con las cuales pueden obtener las pectinas con las características requeridas por los clientes. Dichas características van a depender, en gran medida de la fuente de obtención y de las condiciones de extracción. Si se conoce mejor la estructura de las pectinas, y como se afecta ésta durante la extracción, se podrán diseñar pectinas hechas a la medida mediante modificaciones a los métodos químicos o enzimáticos de extracción.

3.3.8 MECANISMOS DE GELIFICACIÓN

Los geles de pectina se forman cuando las secciones de homogalacturonanos se entrecruzan para formar una red cristalina en la que se atrapa agua y solutos. La pectina de alto metóxilo gelifica si el contenido de sólidos solubles es superior al 65% y el pH es de 2.0 a 3.8. El gel se forma por entrecruzamiento del polímero a zonas de unión en el que principalmente enlaces de hidrógeno y la repulsión de los grupos metilo crean zonas donde se atrapan moléculas de azúcar

La pectina de bajo metóxilo forma geles en presencia de cationes polivalentes, típicamente de calcio (cantidad mínima de 15 mg de Ca^{2+} / g de pectina). Estas pectinas gelifican en un rango más amplio de pH entre 2.6 y 7.0, y con un contenido de sólidos solubles

entre 10 - 70% (Silvateam, 2012). Estas pectinas forman zonas de uniones de tres tipos: interacciones hidrofóbicas entre grupos metil-ester, interacciones hidrofílicas entre grupos carboxilos no disociados y grupos hidroxilo mediante puentes de hidrógeno, e interacciones iónicas entre grupos carboxilos disociados por medio de uniones con iones de calcio (Kastner et al., 2012).

Este último tipo de uniones inducen la formación de la estructura de “caja de huevo”, en la cual ocurre una dimerización inicial entre dos cadenas de homogalacturonanos por unión cooperativa de cadenas paralelas con iones de calcio (Munarin et al., 2012). Este autor ilustró el mecanismo de formación de la estructura “caja de huevo”, el cual se observa en la Figura 12:

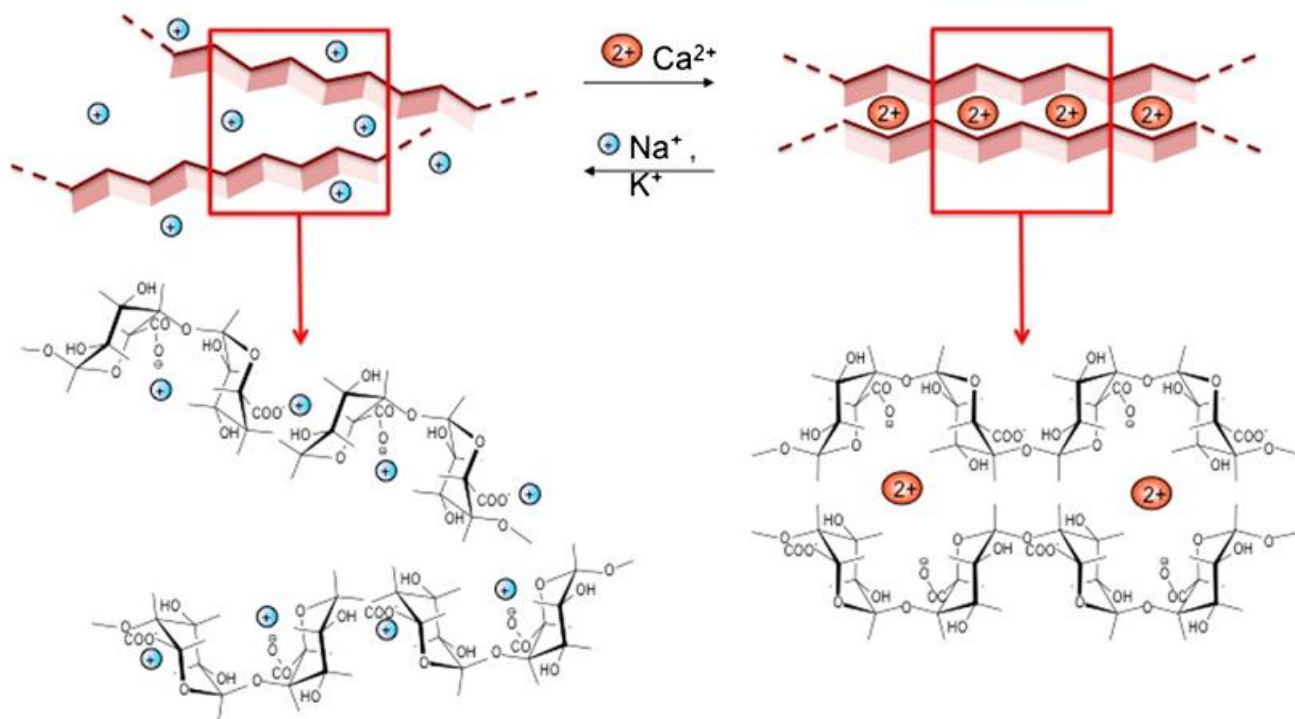


Figura 10. Mecanismo de gelificación de pectinas de bajo metóxilo (Munarin et al., 2012)

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El estudio del efecto de las condiciones de extracción sobre las características físico-químicas de las pectinas obtenidas se realizó mediante un diseño experimental factorial completo 2^k de cuatro factores a dos niveles cada uno. Las respuestas fueron: Rendimiento (%), Grado de esterificación (GE) y Grado de gelificación. El análisis estadístico se realizó mediante el programa estadístico Minitab® versión 16. Los factores se encuentran resumidos en el cuadro 3. El análisis de la respuesta “Rendimiento” se analizó mediante dos bloques (por duplicado), mientras que la respuesta “Grado de esterificación” se analizó mediante tres bloques (por triplicado).

Cuadro 3. Factores y niveles del diseño experimental

FACTORES	NIVEL MINIMO	NIVEL MÁXIMO
A: Temperatura, °C	80	90
B: Tiempo de extracción, min	45	90
C: pH	1.5	3.0
D: Fracción de la fruta	cáscara	Pulpa

Al ser un diseño experimental 2^k siendo k el número de factores se obtienen 16 corridas experimentales. En el cuadro 4 se encuentran las diferentes combinaciones de los factores para cada corrida experimental.

Cuadro 4. Combinaciones de factores para las corridas

Corrida #	Temperatura	Tiempo	pH	SECCION FRUTA
1	90	45	1.5	pulpa
2	80	90	3	pulpa
3	90	45	3	cáscara
4	80	90	1.5	pulpa
5	80	45	3	pulpa
6	90	45	1.5	cáscara
7	80	45	1.5	cáscara
8	90	90	1.5	cáscara
9	80	45	1.5	pulpa
10	90	90	3	pulpa
11	90	45	3	pulpa
12	80	90	1.5	cáscara
13	80	45	3	cáscara
14	80	90	3	cáscara
15	90	90	1.5	pulpa
16	90	90	3	cáscara

4.2.MATERIA PRIMA:

4.2.1 SELECCIÓN Y MANEJO DE LA FRUTA:

Los frutos fueron seleccionados en sus etapas semi-madura (“mature”) y madura (“ripe”) de dos árboles específicos sembrados en terrenos dentro del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. El primero se encuentra sembrado al frente del Edificio Alfredo Ramírez de Arellano y Rosell, y el segundo se encuentra frente a la entrada principal del colegio. La selección se realizó visualmente, al observar que el fruto tuviera coloraciones características del fruto maduro (amarillo con ligeras secciones naranjas), y al tacto, buscando una textura firme de la pulpa. La fruta fue tratada en las instalaciones de los laboratorios del edificio de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Los mangos se recolectaron del árbol para posterior selección según el grado de maduración, ya que el mango al aumentar su maduración aumenta el grado de afección por la antracnosis, por lo cual los mangos muy maduros no fueron seleccionados. También el mango muy maduro, al tener mayor contenido de azúcares dificultaba los procesos de secado y molienda, ya que al secarlos su textura quedaba blanda, y al molerlos formaban capas de azúcar en los discos del molino, por el calor generado por la fricción, y el equipo se atascaba.

4.2.2 ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

- **Análisis proximal:** Se siguieron los procedimientos establecidos por los Métodos Oficiales de la AOAC y AOCS, en el cuadro 5, a continuación:

Cuadro 5. Métodos de Análisis Proximal

Análisis	Método
Humedad, %	AOAC 920.151 ^a
Ceniza, %	AOAC 900.02a
Proteína, %	AOAC 991.20 (factor de conversión= 6.25)
Grasa, %	AOCS Am 5-04
Fibra, %	AOCS Ba 6-05

4.3EXTRACCIÓN DE PECTINA

Se realizaron pruebas preliminares para determinar el protocolo de extracción a realizar, y se escogió el realizado por Koubala et al., (2008), ya que al reproducir sus condiciones de proceso (solución de HCl con un pH de 1.5, 85 °C, 1 h) con cáscara de limón se obtuvieron valores comparables con los resultados de dicha investigación (22% rendimiento en términos de g pectina/ g material seco). Se escogió HCl como solución extractora y los pH entre 1.5 y 3.0, ya que es el ácido más usado en la industria debido a su bajo costo y es permitido por la FAO. Además, al ser este un ácido fuerte ($pK_a = -7.0$) penetra en la célula vegetal, solubilizando la pectina, con mayor facilidad que otros ácidos usados (Ácido nítrico, $pK_a = -1.3$; Ácido fosfórico, $pK_a = 2.16$) (McMurry, 2012). El proceso de extracción está dividido en 3 etapas:

1) Preparación de residuos insolubles en alcohol (RIA): se realizó un pre-tratamiento con alcohol con el fin de remover pigmentos, azúcares simples y compuestos de bajo peso molecular, así como trazas de ácido galacturónico libre (Happi Emaga et al., 2008) que puedan afectar la extracción de la pectina

En la Figura 11 se observa el diagrama de flujo que describe el proceso de preparación de RIA, el cual consta de las siguientes etapas:

- **Lavado y selección:** La fruta fue recogida manualmente en los árboles de la Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, para luego ser lavada y seleccionada (menor grado de afección por manchas negras indicativas de antracnosis).
- **Pelado y cortado:** La cáscara fue cortada en pedazos de 1cm^2 aproximadamente, y lavada hasta llegar a 0°Brix en el agua de lavado. La pulpa fue cortada en igual tamaño aproximadamente.
- **Secado:** Se realizaron pruebas preliminares para determinar el tiempo óptimo de secado (24 horas) mediante la pérdida de peso a través del tiempo, hasta llegar a peso constante en una balanza analítica. Las fracciones de pulpa y cáscara fueron secados en un deshidratador de frutas a 115°F por 24 horas hasta llegar a una humedad final de 3.95% para la pulpa y 6.10% para la cáscara. La humedad fue determinada mediante un equipo de determinación del porcentaje de humedad por infrarrojo (SARTORIUS MA 35 - Sartorius).
- **Molienda y Tamizado:** Ambas fracciones de la fruta fueron molidas por separado y llevadas a un tamaño de partícula promedio de 0.1 cm (material retenido entre Mallas #14 y #16).
- **Residuos Insolubles en Alcohol (RIA):** Tanto la fracción de las cáscaras, como las pulpas se sometieron 3 veces a un tratamiento con etanol 85% (condiciones: 1/3 p/v, 20 min, 70°C) con el fin de inactivar posibles enzimas endógenas y remover sólidos solubles en alcohol, especialmente azúcares libres y pigmentos (Yapo, 2009c).

- **Secado de RIA:** los residuos insolubles en Alcohol (RIA) se secaron en un deshidratador de frutas por una noche a 36 °C.

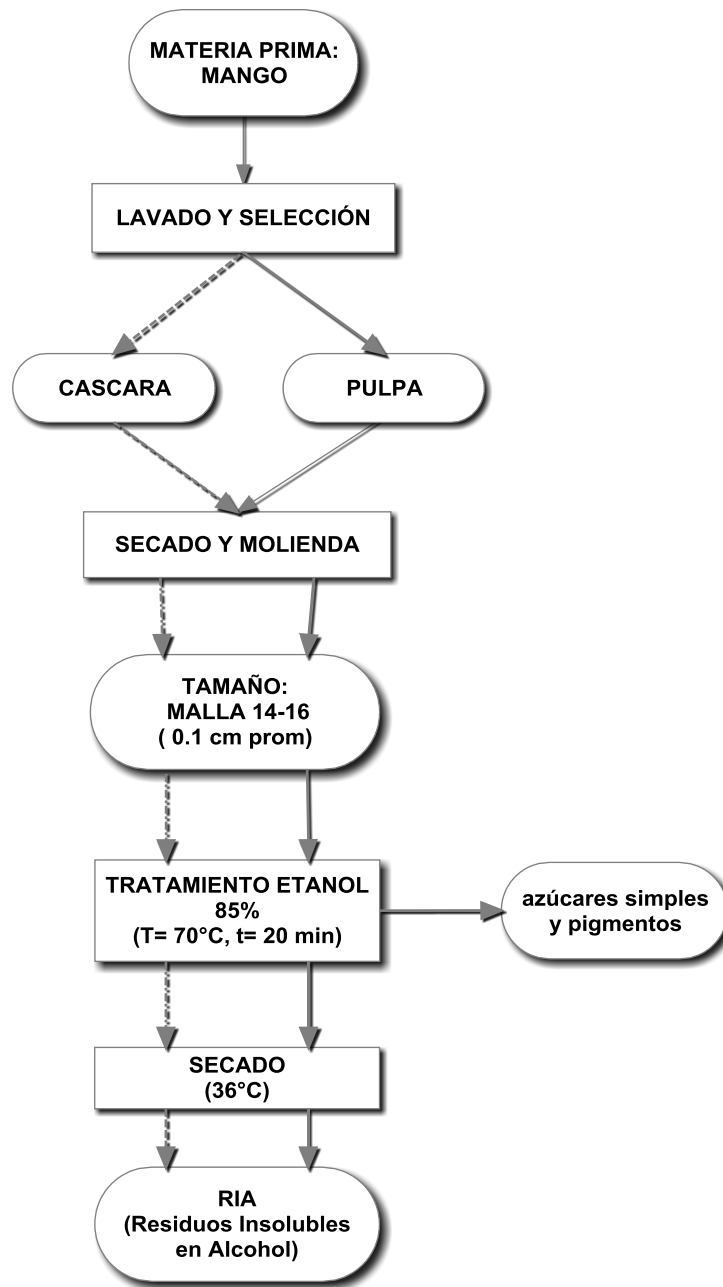


Figura 11. Diagrama de proceso de preparación de residuos insolubles en alcohol.

2) Extracción Ácida:

En la figura 12 se observa el diagrama de flujo que describe el proceso de extracción ácida de pectina a partir de RIA. Este proceso consta de las siguientes etapas:

- **Extracción por hidrólisis ácida:** 40 gramos de residuos insolubles en Alcohol (RIA) de ambas fracciones, cáscara y pulpa por separado, se sometieron a diferentes condiciones de extracción ácida usando HCl como solución extractora a pH entre 1.5 y 3.0, mediante calentamiento a 80 y a 90°C, y por tiempos de 45 min y 1 hora. La relación RIA/Solución Ácida es 1/40 p/v y el proceso se realizó en un baño de agua (VERSA-BATH® - Fisher Scientific, USA) para asegurar el control y la homogeneidad de la temperatura.
- **Filtrado:** La mezcla se pasó por una bolsa de stomacher con malla para separar las fracciones sólidas, la cual se descarta. La fracción filtrada que se usa para la posterior precipitación.
- **Concentración de la solución:** Con el fin de retirar agua de la solución para disminuir la cantidad de alcohol necesaria para precipitar la pectina, la solución se concentró hasta la tercera parte aproximadamente en un rota evaporador YAMATO RE301, (Yamato, USA) a 50°C por 90 min con un baño de agua YAMATO BM500 (Yamato, USA). El Condensador del Rota evaporador está conectado a una bomba de vacío que está adaptada con una trampa para atrapar agua previa a la entrada de vacío de la bomba (para evitar cualquier infiltración de agua que pudiera contaminar el aceite de la bomba y dañarla).

- **Precipitación (alcohol):** Se precipitó la pectina de la solución concentrada mediante el uso de Etanol al 96% con una relación 1/3 v/v. La mezcla se agitó y luego se dejó reposar por 10 min para permitir que la pectina floculara. Esta mezcla se centrifugó con el fin de separar el sobrenadante (alcohol residual) y el pellet (pectina precipitada) a una rapidez de 2500 rpm (950 x g aproximadamente) en una centrifuga IEC HN-SII CENTRIFUGE (DAMON/IEC DIVISION, USA).
- **Lavado:** Los pellets obtenidos fueron lavados con etanol al 70%. Se reposó por 10 min para una posterior centrifugación a 2500 rpm, y nuevamente se separó el sobrenadante y el pellet (pectina lavada).
- **Purificación:** Se realizó un último lavado de la pectina con etanol al 96% para eliminar posibles impurezas, y se centrifugó (2500 rpm) para conservar el pellet de pectina purificada.
- **Secado:** El pellet se secó en un deshidratador de frutas NESCO® GARDENMASTER PRO FOOD DEHYDRATOR (Nesco, USA) a una temperatura de 97 °F por una noche. La pectina se maceró en un mortero y se tamizó hasta llegar a malla #60 (tamaño de partícula 0.250 mm), luego se homogenizaron las dos repeticiones de cada corrida para posteriores pruebas de caracterización.

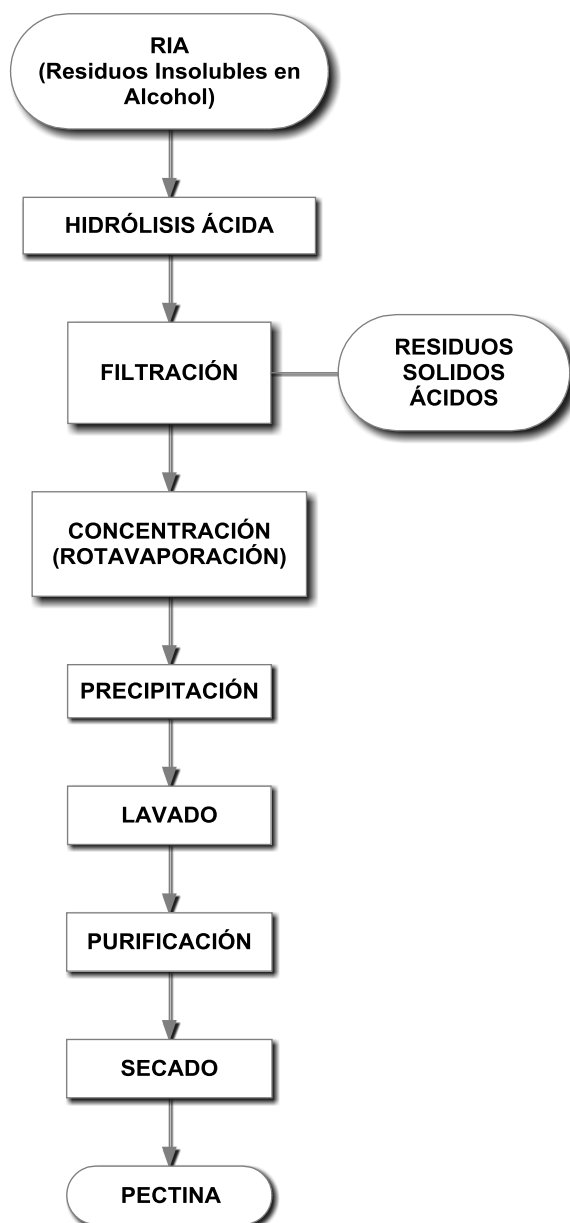


Figura 12. Diagrama del Proceso de Extracción de Ácido de Pectina a partir de residuos insolubles en alcohol (RIA)

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA

1. Rendimiento en peso: Se puede definir basado en dos términos. Con respecto a la relación de pectina con respecto a los Residuos Insolubles en Alcohol (RIA), o cáscara o pulpa seca y húmeda. Se determina por la relación del peso de pectina obtenida (w_2) y el peso de materia prima (mango) procesada (w_1), mediante la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento, \%} = \frac{w_2}{w_1} \times 100$$

2. Grado de esterificación (Bochek et al., 2001): Para validar este método se realizaron pruebas preliminares con pectinas comerciales de alto metóxilo y bajo metóxilo (TIC GUMS, USA). Se preparó una solución de pectina al 1%, la cual se humedeció con 2 mL de etanol antes de añadir agua destilada a 40°C. La pectina se disolvió en un “hot plate” con agitación continua por 2 horas. De esta solución se tomaron tres alícuotas para realizarles el análisis por triplicado. La alícuota de 20 ml se transfirió en un Erlenmeyer de 125 mL, y se tituló con NaOH 0.1 N usando fenolftaleína como indicador hasta llegar al primer cambio de color del indicador (rosa claro), y se registró este volumen gastado como V_1 . Luego, se añadieron 10 ml de NaOH adicionales para saponificar los grupos esterificados de la pectina por 2 horas en un “hot plate” con agitación continua. Luego de esta saponificación se añadieron 10 mL de HCl 0.1 N. El exceso de HCl se tituló con NaOH 0.1 N hasta llegar nuevamente al primer cambio de color del indicador. Este volumen se registró como V_2 .

$$\text{Grado de esterificación, \%} = 100 \times \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

- **Capacidad de gelificación y características de textura:**

a) **Grado de gelificación: (adaptado de IFT, 1959):** Se define como la cantidad de azúcar, en gramos, que puede gelificar 1 gramo de pectina para formar un gel estándar a 65% sólidos totales y un pH entre 2.2 y 2.4. Se preparó una solución de pectina al 1% (peso de pectina/peso de azúcar), agua suficiente para llegar a los grados brix establecidos luego del calentamiento, y ácido tartárico (solución al 48.8% en peso) suficiente para llegar al pH de 2.4. A esta solución se aplicó calor hasta llegar a temperatura de ebullición por alrededor de 8 min y se vertió rápidamente en los vasos de “Rigelómetro” cuando la temperatura llegó a $95 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y se llenó hasta el borde. Se enfrió por 30 min y se incubó a 25°C por 24 horas. Los geles se voltearon en la placa del “Rigelómetro” y luego de 2 min se colocó el tornillo micrométrico del “Rigelómetro” en contacto con la superficie del centro del gel, y se leyó la medida del hundimiento en el tornillo. En la Figura 13 se muestra una fotografía del “Rigelómetro”.



Figura 13. Rigelómetro o equipo para medir la graduación de la pectina (Herbstreith & Fox, 2012)

Para obtener un resultado preciso, las propiedades del gel debe estar dentro de los límites siguientes (IFT, 1959):

- **Fuerza:** 19.5 a 27.0% el hundimiento
- **pH:** 2.2 a 2.4
- **Sólidos:** 64.5 a 65.5%

En el cuadro 6 se observa la cantidad de pectina para determinar los diferentes grados.

Cuadro 6. Peso de pectina a ser usado para los diferentes grados (IFT, 1959)

Grados Pectina (Nominal)	Peso De Pectina Seca (g)	Cantidad De Azúcar (g)
150	4.33	646
200	3.25	647
225	2.89	647
250	2.60	647
X	650/X	650-X

Para calcular los grados SAG de la pectina se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Grados SAG} = F \times C \times 650 / W$$

Donde W es el peso de pectina utilizado, C es el factor de corrección de los sólidos totales, y F es el factor de hundimiento. Las tablas que contienen los diferentes valores de los factores de corrección, F y C, se encuentran en el Anexo A.

- b) Consistencia (Consistómetro de Bostwick):** Para las pectinas de pulpa que no formaron un gel suficientemente fuerte para ser medido en el “Rigelómetro” se realizó la prueba del consistómetro de Bostwick. Mesbahi et al., (2005) describe el instrumento como un instrumento simple, fiable, que determina la consistencia de la muestra mediante la medición de la distancia que una muestra de material fluye bajo su propio peso. El resultado se indica en cm/s, y muestra la velocidad de flujo de la muestra, mayor es el valor, menor es la consistencia.

La prueba se realizó llenando completamente el pozo del instrumento y se procedió a soltar la compuerta y se dejó correr el gel en el canal por 30 seg, y se midió la distancia, en centímetros, que se desplazó en este tiempo.

- **Fuerza de ruptura y elasticidad del gel (Modificado de Sriamornsak & Cheewatanakornkul, 2005):** Mediante el analizador de textura “Texture Analyzer TA-XT plus” (Stable Micro Systems, UK) se tomaron medidas de deformación en geles elaboradas en vasos de 1 onza. En la Figura 14 se observan en detalle las muestras y el texturómetro realizando la prueba.



Figura 14. Fotografías de las muestras y del Texturómetro.

Los geles se llenaron hasta el borde del envase y se elaboraron a las condiciones de grados brix y pH utilizados para la prueba del “Rigelómetro”. El equipo se adaptó con un implemento cilíndrico de 0.5 pulgadas de radio (P/0.5R). Los geles se mantuvieron en refrigeración (4°C) para preservarlas de daño por cambio de temperatura y previo a la prueba se dejaron reposar por 1 hora a temperatura ambiente. El recipiente se colocó en la plataforma del instrumento y el implemento se desplazó bajo condiciones predeterminadas por el texturómetro para muestras de geles de pectina que se encuentran en el anexo B.

Cuando la sonda penetraba la muestra, el equipo registró valores de fuerza, distancia y tiempo. La fuerza de ruptura es el valor máximo positivo de fuerza antes de que el gel se quiebre, esta fuerza indica la firmeza o fuerza del gel. La distancia de penetración antes que la gel se quiebre es un indicador de la elasticidad del gel, por ejemplo, a mayor

distancia mayor elasticidad tiene este gel, por lo tanto es menos quebradizo. En la Figura 15 se observa que el gel cuya curva es roja, tiene la fuerza de ruptura más alta y la misma elasticidad comparada con la curva verde, la de menor fuerza de ruptura. Mientras tanto, el gel de curva azul tiene menor elasticidad que las demás.

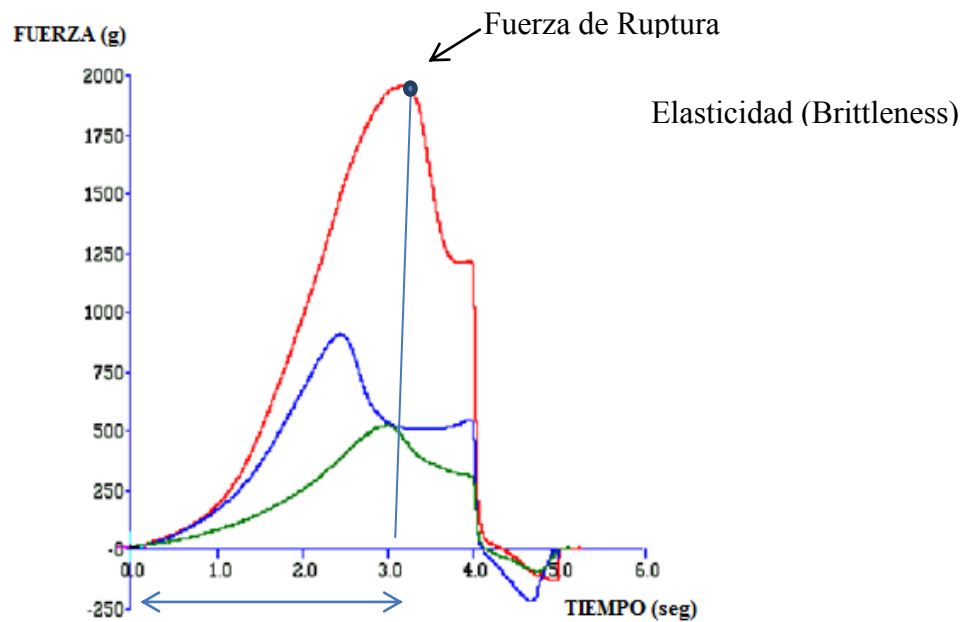


Figura 15. Gráficas para tres tipos de gels medidos mediante la prueba (Stable Microsystems Ltd, 2007)

- **Espectroscopía de Infrarrojos con transformadas de Fourier:** Las muestras de pectinas se prepararon para el análisis disolviéndolas en metanol y las lecturas de los espectros de infrarrojo con Transformadas de Fourier (FTIR) se realizaron en el equipo BrukerOptics

IFS 66v/S spectrometer. Las medidas de absorbancia se tomaron en la región de 400-4000 cm^{-1} . La data se obtuvo y se graficó mediante el programa Microsoft Excel 2010 ®

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ANÁLISIS PROXIMAL

Cuadro 7. Análisis Proximal Promedio para la materia prima, Cáscara y Pulpa de Mango Mayagüezano

	<i>PULPA</i>	<i>CÁSCARA</i>
Humedad, %	77.72±0.06	72.57±0.08
Ceniza, %	2.12±0.01	2.85±0.01
Proteína, % Base seca	1.98±0.11	3.21±0.13
Grasa, % base seca	1.44±0.21	2.42±0.17
Fibra, % Base Seca	4.57±0.01	12.16±0.01
Carbohidratos, por diferencia	12.17±0.24	6.79±0.23

En el cuadro 7 se observan los valores promedio para el análisis proximal de la cáscara y pulpa. Se observa que el contenido de proteína, humedad y grasa es similar en cáscara y pulpa, mientras que el contenido de fibra en cáscara es mayor en la cáscara que en la pulpa. El porcentaje de proteína en la cáscara es equivalente a lo reportado en la literatura, con ligeras diferencias debidas al tipo de variedad utilizada (Ashifat, Omotubga, Kehinde, Olayinka, & Edugbola, 2012; Ashoush & Gadallah, 2011).

5.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN

5.2.1 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE PRE-TRATAMIENTO

El objetivo de este pre tratamiento es inactivar posibles enzimas endógenas y remover sólidos solubles en alcohol, especialmente azúcares libres y pigmentos (Yapo, 2009c). Esto con el fin de mejorar el rendimiento del proceso y la pureza de las pectinas obtenidas. El proceso de obtención de Residuos Insolubles en alcohol fue realizado en tres lotes con posterior homogenización de la muestra. Los rendimientos promedio fueron 32.66% para la pulpa seca y 61.61% para la cáscara. La diferencia entre los rendimientos de cascara y pulpa son debido al alto contenido de azúcares solubles en alcohol extraídos de la pulpa del mango por el pretratamiento, con lo cual se confirma la efectividad del tratamiento con respecto a la solubilización de azucars libres.

Los valores obtenidos son mayores comparados con la investigación de Roe & Bruemmer (1981), el cual obtuvo rendimientos de Residuos Insolubles en alcohol de Pulpa de mango Keitt del 9 al 11%.

5.2.2 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN

Cuadro 8. Valores de Rendimiento para los diferentes tratamientos

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	pH	Sección Fruta	% Rendimiento, (g/ g RIA)	% Rendimiento, (g/ g material seco)
1	80	45	1.5	Cáscara	15.0405	9.9502
2	80	45	3	Pulpa	10.0902	3.8470
3	80	90	1.5	Pulpa	30.5664	11.6538
4	80	90	3	Cáscara	7.4569	4.9332
5	90	45	1.5	Pulpa	32.3457	12.3322
6	90	45	3	Cáscara	10.6183	7.02469
7	90	90	1.5	Cáscara	27.9782	18.5093
8	90	90	3	Pulpa	14.1325	5.3882
9	80	90	3	Pulpa	18.5732	7.0813
10	80	45	3	Cáscara	9.2389	6.1121
11	90	45	3	Pulpa	19.3932	7.3939
12	90	90	3	Cáscara	13.6650	9.04025
13	90	45	1.5	Cáscara	25.8260	17.0855
14	80	45	1.5	Pulpa	22.1667	8.4513
15	80	90	1.5	Cáscara	18.3581	12.1450
16	90	90	1.5	Pulpa	30.2090	11.5175

En el cuadro 8 se observa que los valores de rendimiento (g pectina/ g material seco) varían de 4.93 al 18.51% para la cáscara y 3.85 a 12.33% para la pulpa. Los valores de rendimiento en base a 1 gramos de RIA varían de 7.46 a 27.98% para la cáscara y 10.09 a 32.35% para la pulpa. El valor más alto para la cáscara fue obtenido bajo las siguientes condiciones: 90°C, 90 min, pH 1.5, mientras que el más bajo fue a condiciones de 80°C, 90 min, pH 3.0. Para la pulpa se obtuvo el valor más alto a 90°C, 45 min y pH 1.5, mientras, para el valor más bajo las condiciones fueron: 80 °C, 45 min y pH 3.0. Analizando la rentabilidad del proceso (mayor rendimiento), estos resultados sugieren que tanto para la pulpa como para la cáscara se debe trabajar a valores altos de temperatura (90°C) y menor pH (1.5).

Los valores de rendimiento para la cáscara concuerdan con lo reportado en la literatura. Koubala et al. (2008) estudió el efecto que ejercen las condiciones de extracción sobre pectinas de cáscara de dos variedades de mango (*Améliorée* y *Mango*). Esa investigación obtuvo rendimientos de 10.1% y 15.3% (g pectina/g de material seco), para las variedades *amelioree* y *mango*, respetivamente, bajo condiciones de extracción (HCl pH 1.5, 85°C, 1 hora) con grados de esterificación de 57 y 52%.

Kratchanova et al. (1991) extrajo pectina de mangó variedades *Ceni* y *Springfield* usando HCl a pH 1.5, 85°C y 30 min. En el cuadro 9 se observa que en esta investigación se encontró un efecto positivo en el rendimiento y en el grado de esterificación obtenida, tanto de cáscaras como de pulpas de ambas variedades en comparación con las muestras no tratadas con etanol, justificando la efectividad del tratamiento en la desactivación de pectinesterasas.

Cuadro 9. Valores de rendimiento para cáscara y pulpa de mango en la investigación de Kratchanova et al. (1991)

Variedad		Rendimiento, (%)	Grado de esterificación (%)	Grados de gelificación (SAG)
Ceni	Pulpa Pre-tratada	5.8	77.2	165
	Cáscara Pre tratada	24.5	76.2	155
	Cáscara	17.0	75.3	174
Springfield	Pulpa Pre-tratada	9.3	62.3	160
	Cáscara Pre tratada	22.3	77.9	125
	Cáscara	20.2	75.4	162

- **ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA RENDIMIENTO**

El análisis estadístico del rendimiento del proceso de extracción se realizó con los resultados calculados en base a los gramos de pectina en relación con los gramos de residuos insolubles en alcohol (RIA). Estos valores se observan en la Tabla 7. Los resultados del análisis estadístico arrojados por el programa MINITAB 16® se observan en el Anexo C.

Mediante el análisis de los efectos principales y estandarizados (Anexo D) se encontró que los factores temperatura, tiempo y sección de la fruta son directamente proporcionales al rendimiento del proceso de extracción, y el pH ejerce un efecto negativo sobre la respuesta, este último con menor significancia estadística. Por lo cual, a mayor pH menor rendimiento. Al realizar el análisis de las interacciones no se encontró interacción alguna entre los factores. Si se analizara la factibilidad del proceso, las mejores condiciones de extracción serían el menor tiempo (45min), mayor temperatura (90°C), el menor pH (1.5) y la pulpa del mango.

El diagrama de Pareto (Anexo D) permite apreciar de mejor manera la magnitud de los efectos y su significancia estadística. Para la respuesta “Rendimiento”, el pH, la sección de fruta y la temperatura muestran una significancia estadística mayor, y la temperatura y el tiempo tienen una menor significancia. Además, se realizó la prueba de Tukey para la comparación de las medias con un nivel de significancia de 0.05 ($p \leq 0.05$). Se encontraron diferencias entre las medias de los diferentes tratamientos para las variables temperatura, pH y sección de fruta, pero para la variable tiempo no se encontró diferencia significativa. Con esta prueba se confirmó que el tiempo no es una variable que afecte el rendimiento, por lo que para futuros experimentos se considerará el menor tiempo (45 min) para mejorar factibilidad económica del proceso.

Sudhakar & Maini, (2000), extrajo pectinas a partir de mango variedad Totapuri con una solución de HCL 0.05N (pH 1.3) por 1 hora a 100 °C, y en su estudio para establecer las mejores condiciones de extracción encontró que el rendimiento está afectado por el pH de la solución extractora, ya que el rendimiento aumenta con la disminución del pH. Esto debido a la habilidad de la solución extractora de penetrar en la pared celular del tejido vegetal y entrar en contacto con la pectina presente en el tejido convirtiéndola de pectina insoluble a pectinas solubles.

Este autor también encontró que el rendimiento aumenta significativamente con el aumento del tiempo de extracción (30 y 60 min), y que el rendimiento no aumento significativamente luego de 1 hora de extracción. Esto también se pudo observar en el rango de tiempo estudiado en esta investigación, ya que al trabajar con tiempos de 45 min y 90 min, el rendimiento no varió significativamente.

5.3 CARACTERIZACIÓN

5.3.1 GRADO DE ESTERIFICACIÓN

Cuadro 10. Valores promedio del grado de esterificación (DE) para los diferentes tratamientos

Corrida	TEMPERATURA	TIEMPO	pH	SECCION RUTA	% DE promedio
1	80	45	1.5	cáscara	69.6196
2	80	45	3	pulpa	94.6420
3	80	90	1.5	pulpa	75.4065
4	80	90	3	cáscara	89.7058
5	90	45	1.5	pulpa	73.0282
6	90	45	3	cáscara	93.4426
7	90	90	1.5	cáscara	66.1062
8	90	90	3	pulpa	94.3655
9	80	90	3	pulpa	96.6292
10	80	45	3	cáscara	93.0534
11	90	45	3	pulpa	95.7775
12	90	90	3	cáscara	90.9091
13	90	45	1.5	cáscara	65.3962
14	80	45	1.5	pulpa	77.0965
15	80	90	1.5	cáscara	63.8709
16	90	90	1.5	pulpa	71.5232

En el cuadro 10 se resumen los valores promedio para los triplicados de las medidas de grado de esterificación (% DE promedio), los cuales varían de 71.52% al 96.63% para la pulpa, y 63.87% al 93.44% para la cáscara. Se observa el valor más alto (96.63%) para la pulpa que fue obtenido bajo las siguientes condiciones: 80°C, 90 min y pH 3.0, mientras que el valor más bajo fue a condiciones de 90°C, 90 min, pH 1.5. Para la cáscara se obtuvo el valor más alto (93.44%) a 90°C, 45 min y pH 3.0, mientras, para el valor más bajo (63.87%) las condiciones fueron: 80 °C, 45 min y pH 1.5.

Analizando estos resultados de grado de esterificación se encontró que todas las pectinas, tanto pulpa como cáscara, caen en la clasificación comercial en pectinas de alto metóxilo. Srirangarajan et al., (1977) reportó grados de esterificación de 61%, mientras que Kratchanova (1991) reportó grados de 77.2 % y 76.2 % para la pulpa y cáscara de Mango variedad Ceni, 62.3% y 77.9% para la variedad Springfield. Estos valores se encuentran citados anteriormente en el cuadro 9. Koubala et al., (2008) extrajo pectinas de cáscaras de mango, variedades Améliorée y Mango, usando una solución de HCl con un pH de 1.5 como solución extractora, obteniendo valores de grado de esterificación (o metilación) de 57% para Améliorée y 52% para Mango, ambas pectinas de alto metóxilo.

• ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL GRADO DE ESTERIFICACIÓN

Los resultados del análisis estadístico arrojados por el programa MINITAB 16 ® se encuentran en el Anexo E. Mediante el análisis de los efectos principales y estandarizados (Anexo F) se encontró que los factores principales pH y sección de la fruta ejercen efectos positivos, mientras que el tiempo y la temperatura ejerce un efecto negativo. Al realizar el análisis de las interacciones no se encontró interacción alguna entre los factores estadísticamente. El pH ejerce un efecto positivo, ya que a mayor pH mayor grado de esterificación. La sección de la fruta que arrojó mayores grados de esterificación fue la pulpa.

El diagrama de Pareto para el grado de esterificación de las pectinas obtenidas arrojó las siguientes observaciones: el pH y la sección de fruta tienen una alta significancia estadística mostrando un efecto positivo en la respuesta, la temperatura y el tiempo tienen una menor significancia ejerciendo un efecto negativo en la respuesta.

Mediante el análisis de los residuos no seguían una tendencia normal y aleatoria, por lo cual se realizó una transformación Box- Cox con un lambda redondeado de 2.0, por lo cual los datos se elevaron al cuadrado para mejorar la normalidad y la linealidad de los datos. En el Anexo F en el gráfico de los residuos luego de la transformación, se observa que los datos se aleatorizaron, y la normalidad se ajustó. Se obtuvieron las siguientes ecuaciones de las regresiones lineales para la sección de la fruta:

Cáscara

$$\text{GRADO DE ESTERIFICACIÓN}^2 = 2565.44 - 17.187 \text{ Temperatura} - 5.8809 \text{ Tiempo} + 2534.29 \text{ pH}$$

Pulpa

$$\text{GRADO DE ESTERIFICACIÓN}^2 = 3463.35 - 17.187 \text{ Temperatura} - 5.8809 \text{ Tiempo} + 2534.29 \text{ pH}$$

Se realizó la prueba de Tukey para la comparación de las medias con un nivel de significancia de 0.05 ($p \leq 0.05$). Se encontraron diferencias entre las medias de los diferentes tratamientos para las variables tiempo, pH y sección de fruta, pero para la variable temperatura no se encontró diferencia significativa entre medias. Con esta prueba se confirmó que la temperatura no es una variable que afecte el grado de esterificación en el rango de temperatura estudiado, por lo que para futuros experimentos se considerará la menor temperatura (80 °C). Se encontró diferencias entre las medias de los diferentes tratamientos para las variables temperatura, pH y sección de fruta, pero para la variable tiempo no se encontró diferencia significativa. Con esta prueba se confirmó que el tiempo no es una variable que afecte el rendimiento, por lo que para futuros experimentos se considerará la menor temperatura (80 °C) para disminuir el gasto energético y así mejorar factibilidad económica del proceso.

Si se analiza la factibilidad del proceso con respecto a mayores grados de esterificación, las mejores condiciones de extracción son la menor temperatura (80°C), el menor tiempo (45 min), mayor pH (3.0), y se extraería de la pulpa del mango.

5.3.2 CAPACIDAD DE GELIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE TEXTURA

Al gelificar las pectinas forman redes en las que atrapa el agua y los sólidos, aumentando la viscosidad o consistencia de un fluido. En la medida en que la concentración de la pectina aumenta, también lo hace la viscosidad o consistencia hasta el punto de solidificar el líquido. (Manohar et al, 1990). Para que la pectina solidifique es necesario que se provean las condiciones de contenido de azúcar y pH requeridos. Los grados SAG son una medida de la cantidad de azúcar que puede gelificar un gramo de pectina. La medición de este parámetro se ha estandarizado con un instrumento conocido como rigelómetro (IPPA, 1959). Este instrumento mide el desplazamiento vertical de una muestra preparada en un vaso estándar. Dicho desplazamiento, que ocurre debido a que el gel de pectina no tiene la fuerza necesaria para mantener la estructura, se relaciona con la cantidad de azúcar que debe ser añadida para que la pectina pueda mantener la muestra con la forma del vaso.

- **Grado de gelificación (SAG) y medidas del consistometro de Botswick (cm/seg):**

Las pectinas se prepararon bajo las condiciones establecidas por International Pectin Producers Association - IPPA (1959) para el grado de gelificación de las pectinas (pH 2.2 -2.4, 64.5-65.5 °Brix). En el cuadro 11 se resumen los valores de medidas del grado de gelificación (SAG)

medido mediante el instrumento “Rigelómetro”. Cabe mencionar que la relación medida entre los grados SAG del rigelómetro y el desplazamiento en el consistómetro es inversamente proporcional, esto implica que a medida que el gel se hace más fuerte, los °SAG aumentan y la distancia recorrida en el consistómetro disminuye. En esta investigación se obtuvieron valores de °SAG menores que los reportados en la literatura. Esto pudo ser debido a las diferencias entre variedades y estados de maduración estudiados por los investigadores. Kratchanova et al, (1991) encontró valores mayores de 150 SAG para las pectinas obtenidas a partir de cáscara y pulpa de mango. Ambas investigaciones obtuvieron valores de grado de gelificación mayores de 150 SAG, lo cual es comparable con las pectinas comerciales obtenidas a partir de manzana y cítricos, las cuales manejan valores de 150-200 SAG.

Cuadro 11. Valores de grado de gelificación para las pectinas obtenidas medidos en términos de grados SAG

<i>Sección de la Fruta</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Tiempo de Extracción (min)</i>	<i>pH</i>	<i>°SAG</i>
Cáscara	80	45	1.5	83.78
			3.0	*
		90	1.5	117.90
			3.0	*
	90	45	1.5	119.08
			3.0	*
90		1.5	*	
		3.0	96.07	
Pulpa	80	45	1.5	77.00
			3.0	98.80
		90	1.5	*
			3.0	112.01
	80	45	1.5	*
			3.0	*
		90	1.5	67.08
			3.0	*

*Condición no pudo ser evaluada porque la muestra estaba muy líquida o no mantenía la estructura.

Como se aprecia en el cuadro 11, algunas de las condiciones experimentales de esta investigación produjeron pectinas muy débiles que no mantenían su estructura al removerlas del vaso estándar; esto a pesar de que se les varió la relación azúcar-pectina. Para estos geles débiles se realizó una medida de la consistencia de la muestra con el consistómetro de Bostwick, con el fin de intentar establecer una relación entre ambas medidas que nos permitiera estimar los ° SAG de las mismas. En el consistómetro se mide el desplazamiento de una muestra viscosa durante un tiempo pre-determinado. A menos viscosa (mas liquida), se desplaza más distancia por los que sus resultados son inversamente proporcionales a la consistencia de la muestra. El cuadro 12 presenta los datos recopilados con el consistómetro expresado en cm/seg como proporción de la distancia lineal de la rampa del consistómetro recorrida por la muestra en 30 seg.

Cuadro 12. Valores de grado de gelificación para las pectinas obtenidas medidos en términos de desplazamiento para el consistómetro de Bostwick

Sección de la Fruta	Temperatura (°C)	Tiempo de Extracción (min)	pH	Desplazamiento(cm/seg)
Cáscara	80	45	1.5	*
			3.0	0.2750
		90	1.5	*
			3.0	0.3250
	90	45	1.5	*
			3.0	0.3750
90		1.5	0.4583	
		3.0	*	
Pulpa	80	45	1.5	*
			3.0	*
		90	1.5	0.7333
			3.0	*
	80	45	1.5	0.5833
			3.0	0.3917
		90	1.5	*
			3.0	0.2750

*Condición no pudo ser evaluada porque la muestra estaba muy sólida

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA GRADO DE GELIFICACION Y PROPIEDADES TEXTURALES.**

El intento de entender el comportamiento de las pectinas se vio limitado por la cantidad de pectina extraída y disponible para el estudio. El análisis que se presenta a continuación se hace con el entendimiento de que la cantidad de datos es limitado y que las conclusiones podrían estar viciadas, por ende, los hallazgos se expresarán como posibles tendencias que habría que validar con un estudio más extenso.

El análisis gráfico de los datos de ambos equipos (Rigelómetro y consistómetro) contra los principales factores experimentales (Anexo C) no arrojó evidencia de relaciones significativas, excepto en el caso del consistómetro con el pH. Esta relación fue probada con análisis de varianza y se comprobó ($P < 0.05$) que las geles con pH de 3.0 resultaban en valores menores en el consistómetro (0.33) que geles de pectinas extraídas a pH 1.5 (0.59). Hussain et al. (1991) estudio el efecto de diferentes niveles de pH y tiempo afectan la cantidad y calidad de pectinas obtenidas a partir de cáscara de mango. Con respecto al rendimiento, no hubo diferencia significativa entre los niveles de pH, y con respecto a la calidad medida como grado de gelificación se encontró que a menor pH (2.0) hubo un mayor grado de gelificación, tendencia inversa a los resultados del del consistometro para esta investigacion, con una diferencia de alrededor de 5 SAG, como se observa en el cuadro 13.

Cuadro 13. Valores de fuerza del gel para cáscara de mango a 45 min de tratamiento, para la investigación de Hussain et al. (1991)

Parámetro	pH 2.0	pH 4.0
Rendimiento, %	14.54	14.03
Grado de gelificación, SAG	154.46	149.55

Al evaluar las relaciones de segundo orden se encontró que las interacciones temperatura_pH y sección de Fruta_pH fueron significativas para los datos del consistómetro, pero no para los del rigelómetro. Aunque ninguna de las interacciones fue significativa para los datos del rigelómetro, las interacciones que más explicaron la variabilidad de los datos fueron temperatura_tiempo ($P=0.1167$) y sección de Fruta_pH ($P=0.2103$). La interacción común a ambos equipos (Anexo C), Sección de fruta_pH fue evaluada usando varias transformaciones de los datos pero no se consiguió un modelo que pudiese establecer una relación entre ambos equipos. Los resultados sugirieron que el pH es más importante para explicar los datos del consistómetro mientras que para los datos del rigelómetro, la sección de fruta explica mejor la variabilidad.

Finalmente, se evaluó la relación entre los datos de los equipos y los valores observados de grado de esterificación, fuerza de ruptura, elasticidad y por ciento de rendimiento de materia seca. El cuadro 14 presenta los resultados del análisis de correlación de Pearson. Como se observa, ninguna de las relaciones es muy fuerte ni es posible identificar alguna variable que

pueda atar los resultados del consistómetro con los del rigelómetro; aun usando transformaciones de los datos.

Cuadro 14. Resultados del análisis de correlación de Pearson para los instrumentos consistómetro y rigelómetro

Variable Observada	Consistómetro		Rigelómetro		Rigelómetro (Inverso de los datos normalizados)	
	Coefficiente (r)	Valor P	Coefficiente (r)	Valor P	Coefficiente (r)	Valor P
Rendimiento, %	0.61	0.11	0.25	0.55	0.06	0.82
Grado de Esterificación, %	-0.71	0.05	0.03	0.95	-0.28	0.30
Fuerza de Ruptura, g	-0.44	0.28	0.43	0.34	0.62	0.01
Elasticidad, mm	0.18	0.66	-0.17	0.71	-0.49	0.06

5.4 ESPECTROSCOPIA DE INFRAROJO CON TRANSFORMADAS DE FOURIER

Varios estudios en el análisis del grado de esterificación de pectinas mediante espectroscopia de infrarrojos con transformas de Fourier (FTIR) y reflectancia difusa (DRIFTS) reportan que las bandas características en un espectro para muestras de pectina se encuentran entre el área de los 1600-1800 cm^{-1} . Gnanasambandam, (2000) reportó bandas pronunciadas entre 1760-1745 cm^{-1} que indicaba la presencia del grupo carbonilo esterificado (C=O), y la banda de 1640-1620 cm^{-1} , indicaba la presencia del ión carboxilato (grupos carboxilo no esterificado o libres) en espectros de pectinas comerciales con diferentes grados de esterificación. Monsoor (2005) reportó las bandas a 1630-1650 y 1740-1760 cm^{-1} , respectivamente, en muestras de pectinas de cáscara de soya preparadas mediante liofilización, secado por atomización y secado en horno al vacío. Las mismas bandas fueron encontradas a 1650 y 1750 cm^{-1} en muestras de pectinas de mesocarpio de naranjas obtenidas a diferentes pH (Lima, et al, 2010).

Liu et al. (2010) encontró en muestras de pectinas de corteza de ramas de mora (*Morus alba*) la presencia de las bandas de grupos carboxilos esterificados a 1643 cm^{-1} y los grupos carboxilos libres a 1742 cm^{-1} (Figura 16). En la muestra de pectina de un grado de esterificación de 24.27% (bajo metóxilo < 50%) se observó que la intensidad de la banda de grupos carboxilos libres era mayor que la banda de grupos carboxilos esterificados, lo cual concuerda con el grado de esterificación encontrado mediante titulación, en el cual el grado de esterificación se define como la relación de los grupos carboxilos esterificados entre el total de grupos carboxilos (libres

y esterificados). Para la muestra de un grado de esterificación de 71.13% no se encontró una diferencia notable entre las bandas.

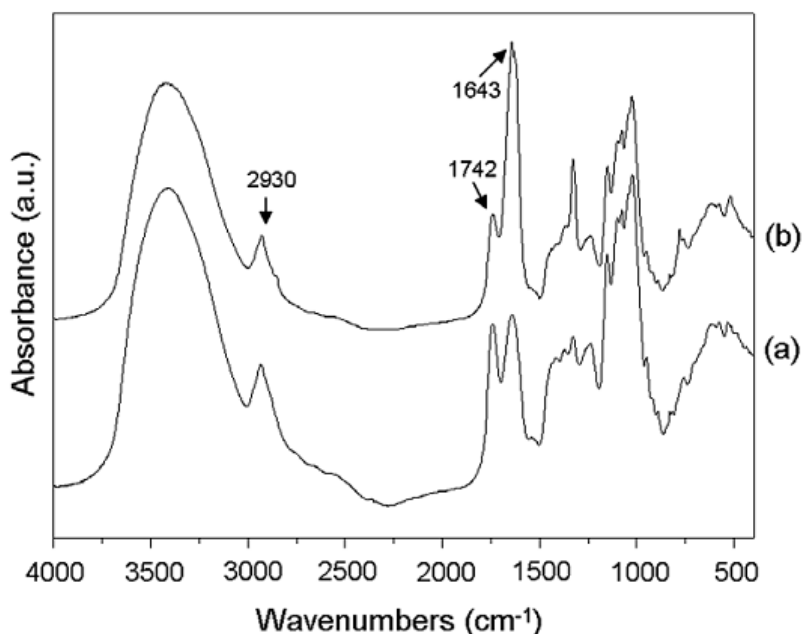


Figura 16. Espectro de infrarrojo en pectinas, (a) Alto grado de esterificación (DE=71.13%), (b) Bajo grado de esterificación (DE=24.27) (Tomado de Liu et al., 2010).

Liu et al. (2010) observó que las pectinas estudiadas no presentaron las bandas en 1540 - 1560cm⁻¹, la cual indica presencia de amida procedente de proteínas, y la banda 1590-1600cm⁻¹, anillos aromáticos que indican presencia de lignina. En las pectinas estudiadas en esta investigación no se reportó la presencia de estas bandas, tanto para pulpa como para cáscara, como se observa en las figuras 17 y 18. En estas figuras también se observa que las pectinas obtenidas, tanto de pulpa y cáscara, presentan las bandas de grupos carboxilos libres (1650cm⁻¹) y la banda grupos carboxilos esterificados (1750cm⁻¹), lo cual confirma la identidad de la muestra como pectina, la efectividad del proceso de extracción y la pureza de las muestras. En el cuadro 15 se resume las observaciones encontradas en los espectros de infrarrojo para las

muestras de pectina obtenidas de pulpa, y en el cuadro 16, se encuentran las observaciones para las pectinas de cáscara.

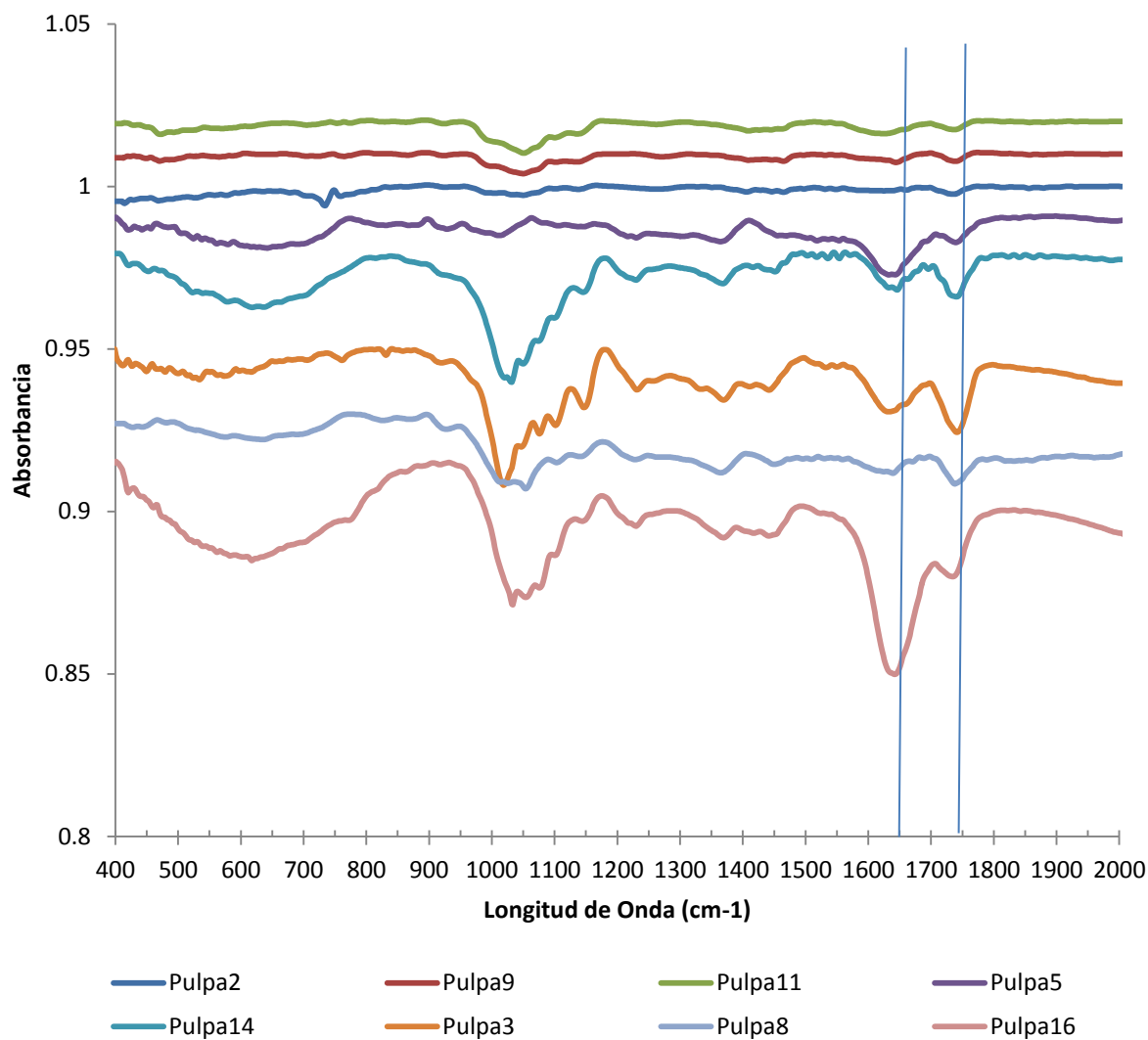


Figura 17. Espectro FTIR de las pectinas obtenidas en la pulpa

Cuadro 15. Observaciones encontradas en los espectros FTIR para las pectinas obtenidas de pulpa.

SECCIÓN FRUTA	CORRIDA	GRADO DE ESTERIFICACIÓN, (%)	OBSERVACIONES
PULPA	5	73	Grupos carboxilos libres (1650cm^{-1}) con mayor intensidad con respecto a la banda de grupos carboxilos esterificados (1750cm^{-1}). Grado de esterificación cercano a 70%.
	16	71.5	
	2	94.6	
	3	75.4	Grupos carboxilos esterificados predominan (1750cm^{-1}). Alto grado de esterificación mediante titulación.
	8	94.4	
	14	77.1	
	9	96.6	Se observan ambos picos de similar intensidad, pero el valor de su grado de esterificación fue alto.
	11	95.8	La banda cercana a 1650cm^{-1} , es de menor intensidad con respecto a la presente en 1750cm^{-1} , pero su valor de grado de esterificación es alto, contradiciendo el valor encontrado durante la titulación. Esto pudo ser debido a sobrestimación durante la titulación por acidez atribuida a otros grupos.

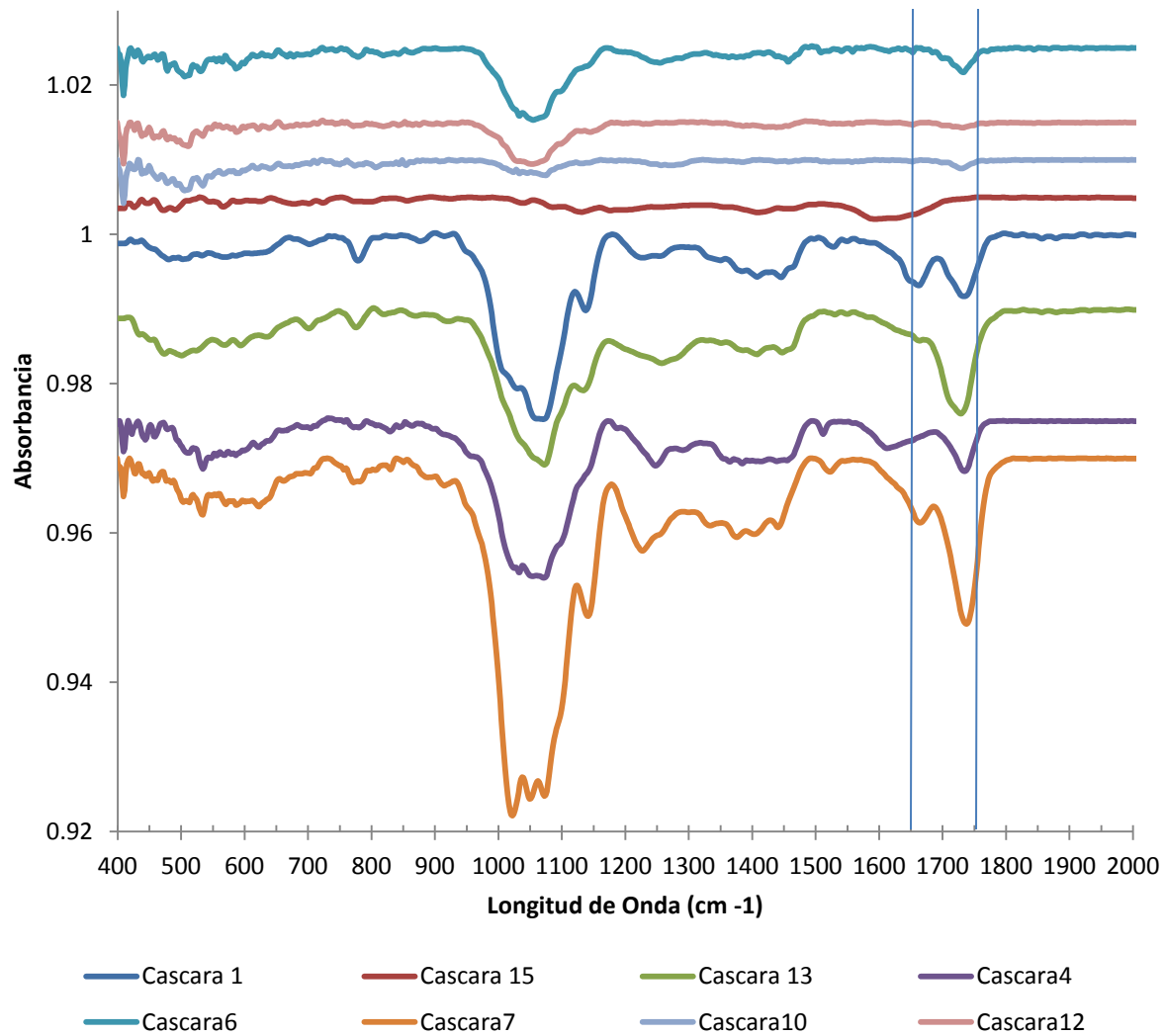


Figura 18. Espectro FTIR para las pectinas obtenidas a partir de la cáscara

Cuadro 16. Observaciones encontradas en los espectros FTIR para las pectinas obtenidas de cáscara

SECCIÓN FRUTA	CORRIDA	GRADO DE ESTERIFICACIÓN,(%)	OBSERVACIONES
Cáscara	1	69.6	Hay predominancia de los grupos carboxilos esterificados (alrededor de 1750 cm^{-1}) con respecto a la banda de los grupos carboxilos libres (1650cm^{-1}).
	4	89.7	
	6	93.4	
	7	66.1	
	10	93.1	
	13	65.4	La banda intensa a $1610\text{-}1650\text{ cm}^{-1}$ (grupos carboxílicos libres), confirma su bajo grado de esterificación
	15	63.9	

5.5 PROPIEDADES TEXTURALES DE GELES DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PECTINA

Se realizaron medidas de fuerza de ruptura y elasticidad en el texturómetro a la muestra de pectina de cáscara que arrojó el mayor valor de de grado de gelificación, corrida 13 (cáscara – 119 SAG). Estas geles fueron preparadas a diferentes concentraciones (0.5%, 0.7% y 1%) manteniendo las condiciones de pH y Brix requeridas en la prueba del Rigelómetro. En la Figura 19 se observa que no hay una diferencia considerable en la fuerza de ruptura entre las muestras al 0.7% y 1%, pero su elasticidad o tiempo de ruptura es mayor al 0.7%. Esto indica que su uso a una concentración al 0.7% resultaría en una firmeza del gel alta pero con mayor elasticidad, lo

cual sería conveniente para aplicaciones que requieren elasticidad como las “gomas” (jellies) o postres que no requieran refrigeración.

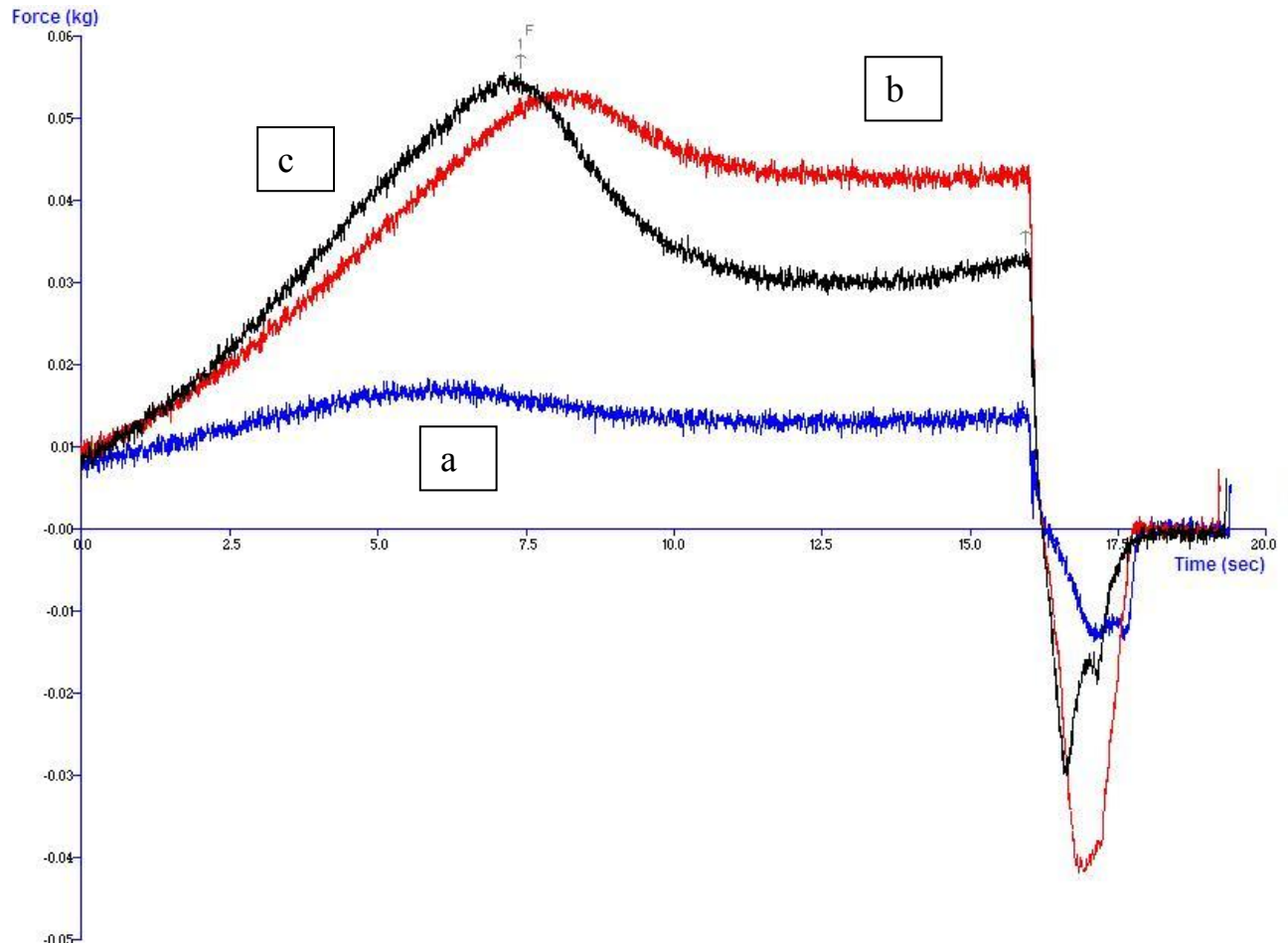


Figura 19. Gráfica de la prueba de fuerza de ruptura del gel para la corrida 13 variando las concentraciones de pectina en (a) 0.5%, (b) 0.7%, (c) 1%.

En el cuadro 17 se encuentran los datos registrados para fuerza de ruptura y elasticidad del gel. Como se observa en la Figura 20, la muestra al 0.5% mostró menor elasticidad y fuerza de ruptura. Esto concuerda con lo reportado por Hall et al. (2008), a mayor concentración mayor fuerza de ruptura y elasticidad del gel

Cuadro 17. Datos de fuerza de ruptura y Elasticidad para la pectina de Cáscara (corrida 13%) a concentraciones de 0.5%, 0.7%, y 1% de pectina.

Muestra	Fuerza de Ruptura (g)	Elasticidad (mm)
Gel 0.5%	18.404	2.937
Gel 0.7%	53.884	7.522
Gel 1.0%	55.633	7.522

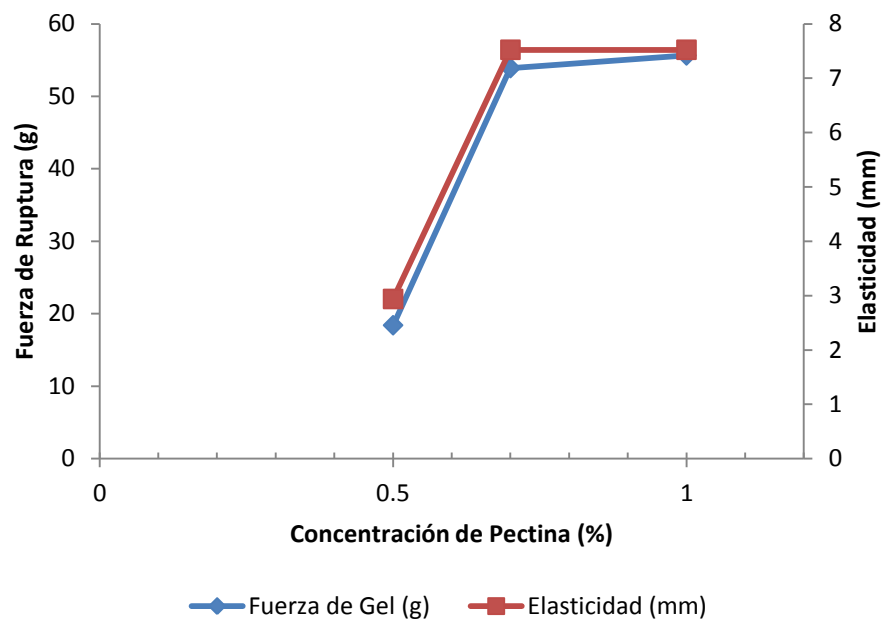


Figura 20. Variación de la fuerza de ruptura y elasticidad del gel con respecto a la concentración de pectina en el gel

6. CONCLUSIONES

Al estudiar la extracción de pectina a partir de mango mayagüezano (*Mangifera indica L.*) se encontró que los factores temperatura, sección de fruta y tiempo son directamente proporcionales al rendimiento de la extracción, resultando valores del 4.93 al 18.51% (g pectina/ g material seco) para la cáscara y 3.85 a 12.33% para la pulpa. Las mejores condiciones de extracción para un mayor rendimiento serían el menor tiempo (45min), mayor temperatura (90°C), el menor pH (1.5) y la pulpa del mango.

Con respecto al parámetro grado de esterificación medido por titulación, se encontró que el pH es directamente proporcional al grado de esterificación, y la sección de la fruta que arrojo mayores valores de grado de esterificación fue la pulpa. Los valores promedio del grado de esterificación variaron entre 71.52% y 96.63% para la pulpa, 63.87% y 93.44% para la cáscara. Lo que indica que las pectinas obtenidas en esta investigación son mayores de 50%, lo cual las cataloga como pectinas de alto metóxilo.

Con el fin de inactivar posibles enzimas endógenas y remover sólidos solubles en alcohol, especialmente azúcares libres y pigmentos se realizó un pre-tratamiento a la cáscara y pulpa del mango, obteniendo Residuos Insolubles en Alcohol (RIA) con rendimientos de 32.66% para la pulpa seca y 61.61% para la cáscara. El bajo rendimiento de la pulpa fue debido al alto contenido de azúcares simples en ella que son solubles en etanol.

El análisis proximal de la materia prima arrojó resultados del contenido de proteína, humedad y grasa similares en cáscara y pulpa, mientras que el contenido de fibra en cáscara es mayor que en la pulpa.

En los espectros FTIR para las pectinas obtenidas de pulpa y cascara se encontró la presencia de las bandas de grupos carboxilos libres (1650cm^{-1}) y grupos carboxilos esterificados (1750cm^{-1}), lo cual confirma la identidad de la muestra como pectina y explica el alto grado de esterificación en ellas. No se reportó la presencia de las bandas en $1540\text{-}1560\text{cm}^{-1}$, la cual indica presencia de amida procedente de proteínas, y la banda $1590\text{-}1600\text{cm}^{-1}$, anillos aromáticos que indican presencia de lignina. Esto indica la efectividad del proceso de extracción y pre-tratamiento con respecto a la pureza de las muestras.

Con relación al estudio de la capacidad de gelificación mediante las medidas del rigelómetro y consistómetro, se encontró que el análisis gráfico de los datos de ambos equipos contra los principales factores experimentales no arrojó evidencia de relaciones significativas, excepto en el caso del consistómetro con el pH. Esta relación fue probada con análisis de varianza y se comprobó ($P < 0.05$) que las geles con pH de 3.0 resultaban en valores menores en el consistómetro (0.33) que geles de pectinas extraídas a pH 1.5 (0.59). La interacción común a ambos equipos, Sección de Fruta_pH, fue evaluada pero no se consiguió un modelo estableciéndose una relación entre ambos equipos. Los resultados sugirieron que el pH es más importante para explicar los datos del consistómetro mientras que para los datos del rigelómetro, la sección de fruta explica mejor la variabilidad.

Se evaluó la relación entre los datos del rigelómetro y el consistómetro, y los valores observados de grado de esterificación, fuerza de ruptura, elasticidad y por ciento de rendimiento de materia seca. Mediante el análisis de correlación de Pearson se encontró que ninguna de las relaciones es muy fuerte ni es posible identificar alguna variable atara los resultados del consistómetro con los del rigelómetro; aun usando transformaciones de los datos.

Al evaluar las propiedades texturales de un gel de pectina de cáscara de 119 SAG (corrida 13) variando la concentración se encontró que a mayor concentración, mayor fuerza de ruptura y elasticidad del gel.

7. RECOMENDACIONES

- Para estandarizar el proceso de selección del mango (materia prima) se recomienda medir los sólidos solubles (grados Brix) y la acidez titulable en la pulpa del mango a través del proceso de maduración del fruto. La proporción entre ambas medidas es un indicativo de maduración ampliamente utilizado en la industria de jugos y pulpas de frutas.
- Para investigaciones futuras, se propone estudiar cómo afecta el grado de maduración del mango mayagüezano y el uso de diferentes ácidos orgánicos como el ácido cítrico, proveniente de jugo de limón, ácido tartárico y ácido oxálico en el rendimiento y propiedades físico-químicas de las pectinas obtenidas. Esto con el fin de obtener un proceso más amigable al ambiente y biodegradable.
- Durante la etapa de pre-tratamiento, al filtrar los residuos insolubles en Alcohol (RIA) de la solución de etanol se obtuvieron los residuos solubles en alcohol (RSA), tanto para cáscara como para pulpa. Estos residuos, ambos, conservaron los aromas de mango maduro, lo cual puede utilizarse para realizar licores y cordiales de mango, al usar etanol-grado alimenticio.
- Los residuos sólidos obtenidos luego de la filtración de la solución extractora en la etapa de extracción ácida (hidrólisis) de la pectina pueden ser neutralizados con NaOH (Hidróxido de sodio – grado alimenticio) para posteriormente ser usados como fuente de celulosa y lignina para alimento de animales o para estudios de la factibilidad de su uso como biomasa o fuente de obtención de bio-etanol en fermentaciones controladas.
- Se sugiere para estudios posteriores, el estudio del comportamiento de las pectinas obtenidas como agente gelificante en la producción de mermeladas o jaleas de frutas.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anon. (1984). Mango. In D. . Salunkhe & B. . Desai (Eds.), *Postharvest Biotechnology of fruits, Vol I* (pp. 77–93). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemistry.
- AOCS. (2005a). Official Method Am 5-04. American Oil Chemist's Society.
- AOCS. (2005b). Official Method Ba 6-05. American Oil Chemist's Society. Urbana, Illinois, USA.
- Arocho Y. (2002). Postharvest evaluation of fruits from six Mayagüezano mango (*Mangifera indica* L.) germplasms for their use as fresh fruit. Mayagüez, Puerto Rico. Trabajo de Grado. Universidad de Puerto Rico - Recinto Universitario de Mayagüez.
- Ashifat, A. A., Omotubga, S. K., Kehinde, A. S., Olayinka, O. O., & Edugbola, G. O. (2012). Proximate Evaluation of Nutritional Value of Mango (*Mangifera indica*). *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 2(4), 244–245.
- Ashoush, I. S., & Gadallah, M. G. E. (2011). Utilization of Mango Peels and Seed Kernels Powders as Sources of Phytochemicals in Biscuit. *World Journal of Dairy & Food Science*, 6(1), 35–42.
- Ayala-Zavala, J. F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodriguez, J. a., Siddiqui, M. W., Dávila-Aviña, J. E. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7), 1866–1874. doi:10.1016/j.foodres.2011.02.021
- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L .): una posible fuente comercial de pectinas, 58(3).
- Behall, K., & S. Reiser. (1986). Effects of pectin on human metabolism. *Chemistry and Function of Pectin* (pp. 248–266). Washington, DC: American Chemical Society.
- Benero, J., & Rodríguez, A. J. (1971). Mango Pulp Extracting Method. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 55(4), 513–515.
- Berardini, N., Knödler, M., Schieber, A., & Carle, R. (2005). Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 442–452. doi:10.1016/j.ifset.2005.06.004
- Bochek, A. M., Zabivalova, N. M., & Petropavlovskii, G. A. (2001). Determination of the Esterification Degree of Polygalacturonic Acid. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 74(5), 796–799.

- Breinholt, S. (2009). Pectins. In A. Imeson (Ed.), *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents* (pp. 237–256). London-UK.: Willey- Blackwell Publishing.
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico. (2012). Distribución del valor de la producción Agrícola 2009-10 en Orden Importancia Económica. Retrieved September 21, 2012, from <http://www2.pr.gov/agencias/Agricultura/estadísticas/Documents/Estadísticas/Distribucion del Valor de la Produccion Agricola 2009-10 en Orden Importancia Economica.pdf>
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico. (2010). Ingreso bruto de la agricultura de puerto rico. Retrieved September 21, 2012, from [http://www2.pr.gov/agencias/Agricultura/estadísticas/Documents/Estadísticas/IBA 2010-2011 \(final\).pdf](http://www2.pr.gov/agencias/Agricultura/estadísticas/Documents/Estadísticas/IBA 2010-2011 (final).pdf)
- Endress, H. U., & Mattes, F. (2009a). Pectin. In P. Cho, S.S., Samuel (Ed.), *Fiber Ingredients: Food Applications and Health Benefits* (p. pp.135 – 171). Boca Raton, FL.: Press Taylor & Francis Group.
- Endress, H. U., & Mattes, F. (2009b). *Fiber Ingredients: Food Applications and Health Benefits*.
- FAO Committee on commodity problems. (2011). INTERGOVERNMENTAL GROUP ON BANANAS AND TROPICAL FRUITS - Current situation and short-term outlook (pp. 11–16). Cameroon. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/meeting/028/ma937e.pdf>
- FAO/WHO Expert Committee on food additive. (2007). Compendium of food additive specifications - FAO JECFA Monographs 4d. *pectin* (pp. 33 – 39). Rome.
- FAOSTAT. (2012). FAO database, mangoes, mangosteen & guava Production by country, year 2010. Retrieved September 22, 2012, from http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
- Gaviria, N., & Lopez, L. (2005). *Extracción a escala laboratorio de la pectina del maracuyá y escalado preliminar a planta piloto*. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Giraldo, V., & Celina. (1991). *Obtención de pectina a partir de tomate de árbol*. Universidad Nacional de Colombia .Medellín, Colombia.
- Gnanasambandam, R. (2000). Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 68(3), 327–332. doi:10.1016/S0308-8146(99)00191-0
- Hall, K., Fang, Q., Nasri, H., & Gosangari, S. (2008). Effects of amount of pectin and plasticizer on delayed release gelatin gel masses. *Banner Pharmacaps*, pp. 1–3. Retrieved from <http://banpharm.com/whitepapers>

- Happi Emaga, T., Ronkart, S. N., Robert, C., Wathelet, B., & Paquot, M. (2008). Characterisation of pectins extracted from banana peels (Musa AAA) under different conditions using an experimental design. *Food Chemistry*, 108(2), 463–471. doi:10.1016/j.foodchem.2007.10.078
- Herbstreith & Fox. (2012). The specialist for Pectins. Retrieved from http://www.herbstreith-fox.de/fileadmin/tmp/pdf/broschueren/The_Specialists_for_Pectin_09.pdf
- Hussain, T., Baig, M. Q., & Haroon, R. (1991). Extraction and evaluation of pectin from mango peel. *Pakistan Journal of Agriculture Research*, 12(3), 213–216.
- International Pectin Producers Association (IPPA). (1959). PECTIN GRADE : USA-SAG TEST METHOD (Method 5-54, IFT Commitee on Pectin Standarization). *Food Technology*, (13), 496–500.
- Jane. (2007). “Carbohydrates: Basic Concepts”. In Y. H. Hui (Ed.), *Food Chemistry: Principles and Applications* (2nd editio.). West Sacramento, CA: Science Technology System.
- Janick, J., & Paull, R. E. (2008). *The encyclopedia of Fruits and Nuts Oxford*. (J. Janick & R. E. Paull, Eds.) (pp. 15–20). University Press.
- Kalapathy, U., & Proctor, a. (2001). Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. *Food Chemistry*, 73(4), 393–396. doi:10.1016/S0308-8146(00)00307-1
- Kastner, H., Einhorn-Stoll, U., & Senge, B. (2012). Structure formation in sugar containing pectin gels – Influence of Ca²⁺ on the gelation of low-methoxylated pectin at acidic pH. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 42–49. doi:10.1016/j.foodhyd.2011.09.001
- Kertesz, Z. I. (1951). *The pectic substances* (p. 438). New York: Wiley Interscience Publishers.
- Kliemann, E., De Simas, K. N., Amante, E. R., Prudêncio, E. S., Teófilo, R. F., Ferreira, M. M. C., & Amboni, R. D. M. C. (2009). Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) using response surface methodology. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(3), 476–483. doi:10.1111/j.1365-2621.2008.01753.x
- Koubala, B. B., Kansci, G., Mbome, L. I., Crépeau, M.-J., Thibault, J.-F., & Ralet, M.-C. (2008). Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from “Améliorée” and “Mango” mango peels. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1345–1351. doi:10.1016/j.foodhyd.2007.07.005
- Kratchanova, M., Bénémou, C., & Kratchanov, C. (1991). On the Pectic Substances of Mango Fruits. *Carbohydrate Polymers*, (15), 271–282.

- Kulkarni, S. G., & Vijayanand, P. (2010). Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 43(7), 1026–1031. doi:10.1016/j.lwt.2009.11.006
- Lima, M. S., Paiva, E. P., Andrade, S. a. C., & Paixão, J. a. (2010). Fruit pectins – A suitable tool for screening gelling properties using infrared spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 24(1), 1–7. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.04.002
- Little, E. (2001). *Árboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Editorial de La Universidad de Puerto Rico.* (p. Pág. 75–76).
- Liu, L., Cao, J., Huang, J., Cai, Y., & Yao, J. (2010). Extraction of pectins with different degrees of esterification from mulberry branch bark. *Bioresource technology*, 101(9), 3268–73. doi:10.1016/j.biortech.2009.12.062
- Lopes da Silva, J. A., & Rao, M. A. (2006). Pectins: Structure, Functionality, and Uses. In and P. A. . W. Alistair M . Stephen , Glyn O . Phillips (Ed.), *Food Polysaccharides and Their Applications* (Second Edi., pp. 353–411). CRC Press 2006. doi:10.1201/9781420015164.ch11
- Ltd, S. M. S. (2007). *Application Study: Comparison of rupture force and brittleness/elasticity of three gel formulations as a means of monitoring effects of quality, concentration and processing* (pp. 1–3). Surrey, UK. Retrieved from <http://www.stablemicrosystems.com>
- McMurry, J. (2012). *Organic Chemistry* (8th ed., p. 51). Cengage Learning.
- Mesbahi, G., Jamalain, J., & Farahnaky, a. (2005). A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems. *Food Hydrocolloids*, 19(4), 731–738. doi:10.1016/j.foodhyd.2004.08.002
- Monsoor, M. a, Kalapathy, U., & Proctor, A. (2001). Improved method for determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(6), 2756–60.
- Monsoor, M. A. (2005). Effect of drying methods on the functional properties of soy hull pectin. *Carbohydrate Polymers*, 61(3), 362–367. doi:10.1016/j.carbpol.2005.06.009
- Munarin, F., Tanzi, M. C., & Petrini, P. (2012). Advances in biomedical applications of pectin gels. *International journal of biological macromolecules*, 51(4), 681–689. doi:10.1016/j.ijbiomac.2012.07.002
- Nguyen, S., Alund, S. J., Hiorth, M., Kjøniksen, A.-L., & Smistad, G. (2011). Studies on pectin coating of liposomes for drug delivery. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 88(2), 664–73. doi:10.1016/j.colsurfb.2011.07.058

- O'Neill, M. A., Ishii, T., Albersheim, P., & Darvill, A. G. (2004). Rhamnogalacturonan II: structure and function or borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 109–139.
- Olano-Martin, E., Rimbach, G. ., Gibson, G. R., & Rastall, R. A. (2003). Pectin and pectic-oligosaccharides induce apoptosis in in vitro human colonic adenocarcinoma cells. *Anticancer Research*, 23(1A), 341–346.
- Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2000). *Handbook of Hydrocolloids*. (First edit., pp. 169– 188). Cambridge, England.: Woodhead Publishers.
- Pilnik, W. (1990). Pectin—a many splendoured thing. In & D. J. W. G. O. Phillips, P. A. Williams (Ed.), *Gums and stabilizers for the food industry* (pp. 313–326). Oxford: Oxford University Press.
- Pinheiro, E. S. R., Silva, I. M. D. a, Gonzaga, L. V, Amante, E. R., Teófilo, R. F., Ferreira, M. M. C., & Amboni, R. D. M. C. (2008). Optimization of extraction of high-ester pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) with citric acid by using response surface methodology. *Bioresource technology*, 99(13), 5561–6. doi:10.1016/j.biortech.2007.10.058
- Qiu, L., Zhao, G., Wu, H., Jiang, L., Li, X., & Liu, J. (2010). Investigation of combined effects of independent variables on extraction of pectin from banana peel using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 80(2), 326–331. doi:10.1016/j.carbpol.2010.01.018
- Ramirez, J. (1980). *Parámetros para la extracción y caracterización de la pectina del tomate de árbol*. Universidad Nacional de Colombia.
- Roe, B., & Bruemmer, J. H. (1981). Changes in Pectic Substances and Enzymes during Ripening and Storage of “ Keitt ” Mbngos. *Enzyme*, 46, 186–189. doi:10.1111/j.1365-2621.1981.tb14560.x
- Sánchez-Nieva, F., Rodríguez, A. J., & Benero, J. . (1959). Processing and Canning Mango Nectars. *Journal of Agriculture Standard Bulletin - University of Puerto Rico*, 148. Citado en Arocho Y. (2002). Postharvest evaluation of fruits from six Mayagüezano mango (*Mangifera indica* L.) germplasms for their use as fresh fruit. Mayagüez, Puerto Rico. Trabajo de Grado. Universidad de Puerto Rico - Recinto Universitario de Mayagüez.
- Sein, F. (1935). Heat Sterilization of Mangoes and Guavas for Fruit Flies. . *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 19(2), 105–115. Citado en Arocho Y. (2002). Postharvest evaluation of fruits from six Mayagüezano mango (*Mangifera indica* L.) germplasms for their use as fresh fruit. Mayagüez, Puerto Rico. Trabajo de Grado. Universidad de Puerto Rico - Recinto Universitario de Mayagüez.
- Silvateam. (2012). Pectin Gelation Mechanism. Retrieved from <http://en.silvateam.com/Products-Services/Food-Ingredients/Pectin/Gelation>

- Sirisakulwat, S., Nagel, A., Sruamsiri, P., Carle, R., & Neidhart, S. (2008). Yield and quality of pectins extractable from the peels of thai mango cultivars depending on fruit ripeness. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(22), 10727–38. doi:10.1021/jf802173c
- Sriamornsak, P., & Cheewatanakornkul, K. (2005). Acid-induced Gelation of Low Methoxyl Pectin and Calcium Ions. *8th Polymers for Advance Technologies International Symposium* (pp. 13–15).
- Srirangarajan, A. N., & Shrikhande, A. J. (1977). A Research Note CHARACTERIZATION OF MANGO PECTIN. *Journal of food science*, 42, 279–280.
- Tharanathan, R. . (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 71–78. doi:10.1016/S0924-2244(02)00280-7
- Vincken, J., Schols, H. A., Oomen, R. J. F. J., Mccann, M. C., Ulvskov, P., Voragen, A. G. J., & Visser, R. G. F. (2003). If Homogalacturonan Were a Side Chain of Rhamnogalacturonan I . Implications for Cell Wall Architecture 1, 132(August), 1781–1789. doi:10.1104/pp.103.022350.in
- Vriesmann, L. C., Teófilo, R. F., & Petkowicz, C. L. D. O. (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. doi:10.1016/j.carbpol.2011.01.009
- Willats, W. G. ., Knox, J. P., & Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: New Insights into an old polymer are starting to gel (Review). *Trends in Food Science & Technology*, (17), 97–104.
- Yamada, H. (1996). Contribution of pectins on health care. In J. Visser & A. G. J. Voragen (Eds.), *Pectins and Pectinases* (pp. 173–190.). Amsterdam: Elsevier, pp.: Elsevier Ltd.
- Yapo, Beda M. (2009a). Biochemical Characteristics and Gelling Capacity of Pectin from Yellow Passion Fruit Rind as Affected by Acid Extractant Nature. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(9), 1572–1578. doi:10.1021/jf802969m
- Yapo, Beda M. & Koffi, K. L. (2006). Yellow passion fruit rind--a potential source of low-methoxyl pectin. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(7), 2738–44. doi:10.1021/jf052605q
- Yapo, Beda M. (2009b). Pineapple and banana pectins comprise fewer homogalacturonan building blocks with a smaller degree of polymerization as compared with yellow passion fruit and lemon pectins: implication for gelling properties. *Biomacromolecules*, 10(4), 717–21. doi:10.1021/bm801490e

Yapo, Beda M. (2009c). Lemon juice improves the extractability and quality characteristics of pectin from yellow passion fruit by-product as compared with commercial citric acid extractant. *Bioresource technology*, 100(12), 3147–51. doi:10.1016/j.biortech.2009.01.039

9. ANEXOS

ANEXO A. CUADROS DE FACTORES DE CORRECCION PARA EL MÉTODO DEL GRADO DE GELIFICACIÓN (IFT, 1959)

Cuadro 1. Factores de corrección para los sólidos totales

% Sólidos Totales (refractómetro)	Factor C
64	1.034
64.1	1.031
64.2	1.028
64.3	1.024
64.4	1.021
64.5	1.018
64.6	1.015
64.7	1.012
64.8	1.008
64.9	1.004
65	1
65.1	0.997
65.2	0.993
65.3	0.99
65.4	0.987
65.5	0.984
65.6	0.98
65.7	0.975
65.8	9.7
65.9	0.967
66	0.964
66.1	0.96
66.2	0.957

Cuadro 2. Factores de corrección para el hundimiento.

% Hundimiento	Factor F	% Hundimiento	Factor F	% Hundimiento	Factor F
18.1	1.243	22.1	1.062	26.1	0.895
18.2	1.238	22.2	1.058	26.2	0.89
18.3	1.233	22.3	1.053	26.3	0.887
18.4	1.228	22.4	1.048	26.4	0.883
18.5	1.223	22.5	1.044	26.5	0.88
18.6	1.218	22.6	1.04	26.6	0.877
18.7	1.213	22.7	1.035	26.7	0.873
18.8	1.208	22.8	1.031	26.8	0.87
18.9	1.203	22.9	1.026	26.9	0.867
19	1.2	23	1.022	27	0.864
19.1	1.194	23.1	1.017	27.1	0.861
19.2	1.19	23.2	1.013	27.2	0.858
19.3	1.185	23.3	1.008	27.3	0.855
19.4	1.181	23.4	1.004	27.4	0.852
19.5	1.177	23.5	1	27.5	0.849
19.6	1.173	23.6	0.995	27.6	0.846
19.7	1.168	23.7	0.991	27.7	0.844
19.8	1.193	23.8	0.987	27.8	0.84
19.9	1.158	23.9	0.982	27.9	0.837
20	1.155	24	0.977	28	0.835
20.1	1.15	24.1	0.973	28.1	0.833
20.2	1.146	24.2	0.969	28.2	0.83
20.3	1.142	24.3	0.964	28.3	0.827
20.4	1.137	24.4	0.96	28.4	0.824
20.5	1.122	24.5	0.956	28.5	0.82
20.6	1.128	24.6	0.952	28.6	0.814
20.7	1.124	24.7	0.948	28.7	0.807
20.8	1.119	24.8	0.944	28.8	0.801
20.9	1.115	24.9	0.94	28.9	0.794
21	1.111	25	0.936	29	0.788
21.1	1.106	25.1	0.932	29.1	0.784
21.2	1.102	25.2	0.928	29.2	0.781
21.3	1.097	25.3	0.924	29.3	0.778
21.4	1.093	25.4	0.92	29.4	0.774
21.5	1.088	25.5	0.917	29.5	0.771
21.6	1.084	25.6	0.913	29.6	0.767
21.7	1.08	25.7	0.909	29.7	0.764
21.8	1.075	25.8	0.905	29.8	0.761
21.9	1.07	25.9	0.902	29.9	0.758
22	1.066	26	0.898	30	0.755

ANEXO B. CONDICIONES DEL EQUIPO EN LA PRUEBA DE MEDICION DE FUERZA DE RUPTURA Y ELASTICIDAD DE LAS GELES DE PECTINA

- **Condiciones del equipo “Texture Analyzer TXA Plus”**

Mode: Measure Force in Compression

Option: Return to Start

Pre-Test Speed: 1.0 mm/s

Test Speed: 0.5 mm/s

Post-Test Speed: 10.0 mm/s

Distance: 8mm

Trigger Type: Auto - 10g

Tare Mode: Auto

Data Acquisition Rate: 400pps

ANEXO C. VALORES ARROJADOS POR MINITAB PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA RENDIMIENTO

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4, 16
 Runs: 32 Replicates: 2
 Blocks: 2 Center pts (total): 0

Block Generators: replicates

All terms are free from aliasing.

Design Table (randomized)

Run	Block	A	B	C	D
1	2	+	-	+	-
2	2	+	+	+	-
3	2	+	+	-	-
4	2	-	-	-	-
5	2	+	-	-	+
6	2	+	+	+	+
7	2	-	+	-	-
8	2	-	+	-	+
9	2	-	+	+	+
10	2	-	-	-	+
11	2	-	-	+	-
12	2	+	-	-	-
13	2	+	+	-	+
14	2	-	-	+	+
15	2	-	+	+	-
16	2	+	-	+	+
17	1	-	-	+	+
18	1	-	+	+	-
19	1	+	+	-	+
20	1	+	+	+	+
21	1	-	+	+	+
22	1	+	-	+	-
23	1	+	-	-	-
24	1	+	-	-	+
25	1	+	-	+	+
26	1	+	+	+	-
27	1	-	+	-	-
28	1	-	+	-	+
29	1	-	-	+	-
30	1	-	-	-	-
31	1	+	+	-	-
32	1	-	-	-	+

Factorial Fit: Rendimiento versus Block, Temperatura, Tiempo, ...

Estimated Effects and Coefficients for Rendimiento (coded units)

Term	Effect	Coef	SECoef	T	P
Constant		19.104	0.4241	45.04	0.000
Block		1.027	0.4241	2.42	0.029
Temperatura	5.335	2.667	0.4241	6.29	0.000
Tiempo	2.027	1.014	0.4241	2.39	0.030
pH	-12.415	-6.208	0.4241	-14.64	0.000
Sección Fruta	6.162	3.081	0.4241	7.26	0.000
Temperatura*Tiempo	-2.577	-1.289	0.4241	-3.04	0.008
Temperatura*pH	-2.222	-1.111	0.4241	-2.62	0.019
Temperatura*Sección Fruta	-1.664	-0.832	0.4241	-1.96	0.069
Tiempo*pH	-0.906	-0.453	0.4241	-1.07	0.302
Tiempo*Sección Fruta	0.344	0.172	0.4241	0.41	0.691
pH*Sección Fruta	-0.859	-0.430	0.4241	-1.01	0.327
Temperatura*Tiempo*pH	0.348	0.174	0.4241	0.41	0.687
Temperatura*Tiempo*Sección Fruta	-3.493	-1.746	0.4241	-4.12	0.001
Temperatura*pH*Sección Fruta	0.982	0.491	0.4241	1.16	0.265
Tiempo*pH*Sección Fruta	0.146	0.073	0.4241	0.17	0.866
Temperatura*Tiempo*pH*Sección Fruta	-1.150	-0.575	0.4241	-1.36	0.195

S = 2.39911 PRESS = 392.923
R-Sq = 96.01% R-Sq(pred) = 81.83% R-Sq(adj) = 91.75%

Analysis of Variance for Rendimiento (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Blocks	1	33.76	33.76	33.76	5.86
Main Effects	4	1797.42	1797.42	449.35	78.07
Temperatura	1	227.67	227.67	227.67	39.56
Tiempo	1	32.88	32.88	32.88	5.71
pH	1	1233.12	1233.12	1233.12	214.24
SecciónFruta	1	303.75	303.75	303.75	52.77
2-Way Interactions	6	128.20	128.20	21.37	3.71
Temperatura*Tiempo	1	53.13	53.13	53.13	9.23
Temperatura*pH	1	39.50	39.50	39.50	6.86
Temperatura*Sección Fruta	1	22.14	22.14	22.14	3.85
Tiempo*pH	1	6.56	6.56	6.56	1.14
Tiempo*Sección Fruta	1	0.95	0.95	0.95	0.16
pH*SecciónFruta	1	5.91	5.91	5.91	1.03
3-Way Interactions	4	106.46	106.46	26.62	4.62
Temperatura*Tiempo*pH	1	0.97	0.97	0.97	0.17
Temperatura*Tiempo*Sección Fruta	1	97.60	97.60	97.60	16.96
Temperatura*pH*Sección Fruta	1	7.72	7.72	7.72	1.34
Tiempo*pH*Sección Fruta	1	0.17	0.17	0.17	0.03
4-Way Interactions	1	10.58	10.58	10.58	1.84
Temperatura*Tiempo*pH*Sección Fruta	1	10.58	10.58	10.58	1.84
Residual Error	15	86.34	86.34	5.76	
Total	31	2162.75			

Source	P
Blocks	0.029
MainEffects	0.000
Temperatura	0.000
Tiempo	0.030

pH	0.000
Sección Fruta	0.000
2-Way Interactions	0.018
Temperatura*Tiempo	0.008
Temperatura*pH	0.019
Temperatura*Sección Fruta	0.069
Tiempo*pH	0.302
Tiempo*Sección Fruta	0.691
pH*Sección Fruta	0.327
3-Way Interactions	0.012
Temperatura*Tiempo*pH	0.687
Temperatura*Tiempo*Sección Fruta	0.001
Temperatura*pH*Sección Fruta	0.265
Tiempo*pH*Sección Fruta	0.866
4-Way Interactions	0.195
Temperatura*Tiempo*pH*Sección Fruta	0.195
Residual Error	
Total	

Estimated Coefficients for Rendimiento using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-163.763
Block	1.02707
Temperatura	2.28674
Tiempo	1.47378
pH	30.5625
Sección Fruta	42.6205
Temperatura*Tiempo	-0.0160981
Temperatura*pH	-0.435622
Temperatura*Sección Fruta	-0.448367
Tiempo*pH	-0.202293
Tiempo*Sección Fruta	0.01395
pH*Sección Fruta	-51.1037
Temperatura*Tiempo*pH	0.00206419
Temperatura*Tiempo*Sección Fruta	-0.0001883
Temperatura*pH*Sección Fruta	0.591055
Tiempo*pH*Sección Fruta	0.583663
Temperatura*Tiempo*pH*Sección Fruta	-0.00681589

General Linear Model: Rendimiento versus Temperatura, Tiempo, ...

Factor	Type	Levels	Values
Temperatura	fixed	2	80, 90
Tiempo	fixed	2	45, 90
pHfixed	2	1.5, 3.0	
Sección Fruta	fixed	2	Cáscara, Pulpa

Analysis of Variance for Rendimiento, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperatura	1	227.67	227.67	227.67	16.83	0.000
Tiempo	1	32.88	32.88	32.88	2.43	0.131
pH	1	1233.12	1233.12	1233.12	91.13	0.000
Sección Fruta	1	303.75	303.75	303.75	22.45	0.000

Error	27	365.34	365.34	13.53
Total	31	2162.75		

S = 3.67844 R-Sq = 83.11% R-Sq(adj) = 80.61%

Unusual Observations for Rendimiento

ObsRendimiento	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
28	36.2647	26.7387	1.4540	9.5260
				2.82 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Temperatura	N	Mean	Grouping
90	16	21.8	A
80	16	16.4	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Tiempo	N	Mean	Grouping
90	16	20.1	A
45	16	18.1	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

pH	N	Mean	Grouping
1.5	16	25.3	A
3.0	16	12.9	B

Means that do not share a letter are significantly different.

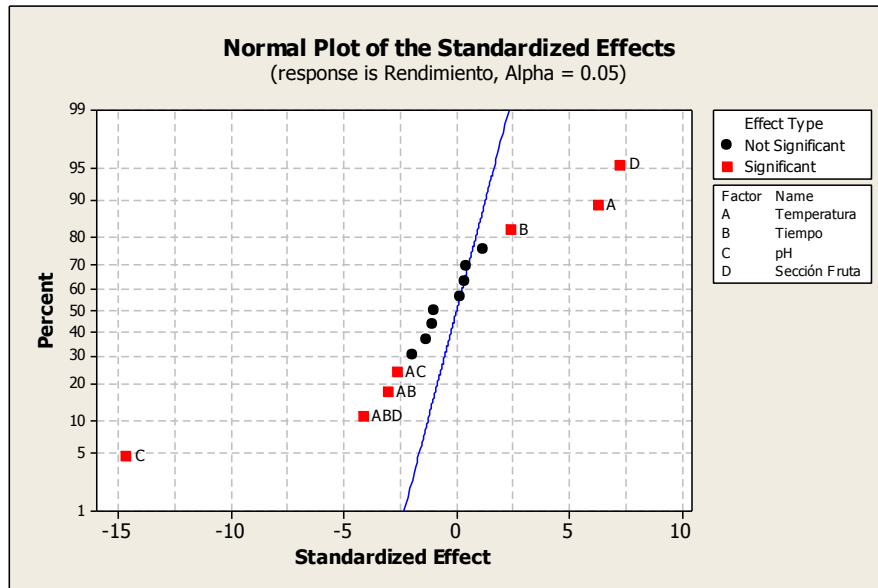
Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Sección	N	Mean	Grouping
Fruta			
Pulpa	16	22.2	A
Cáscara	16	16.0	B

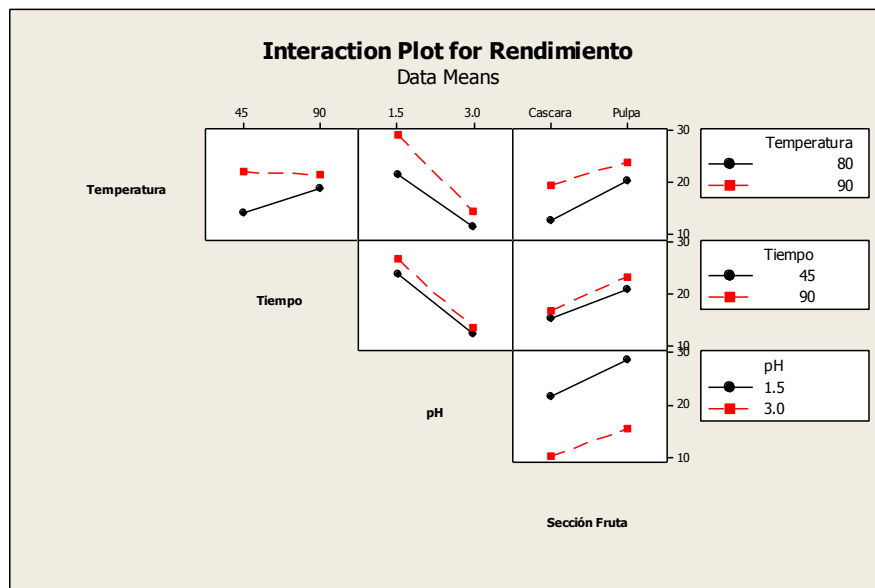
Means that do not share a letter are significantly different.

ANEXO D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL RENDIMIENTO

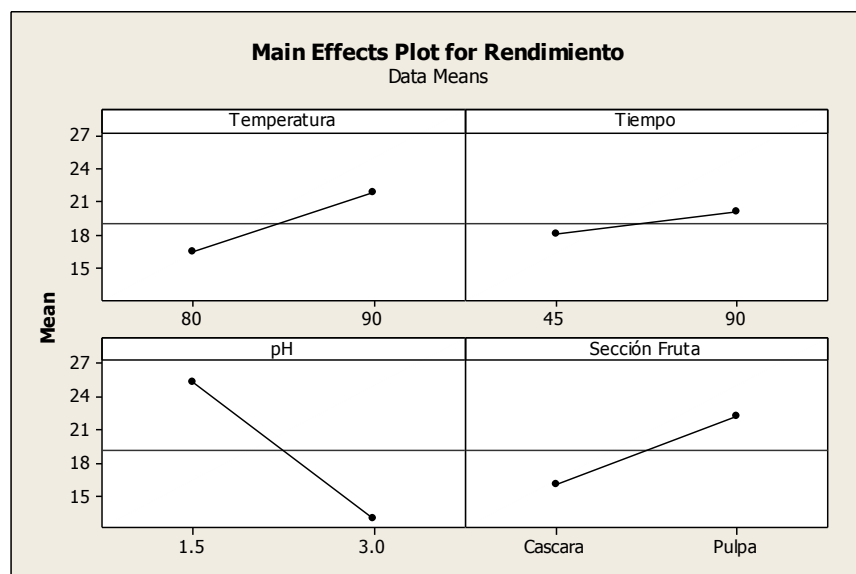
- Gráfico normal de los efectos estandarizados



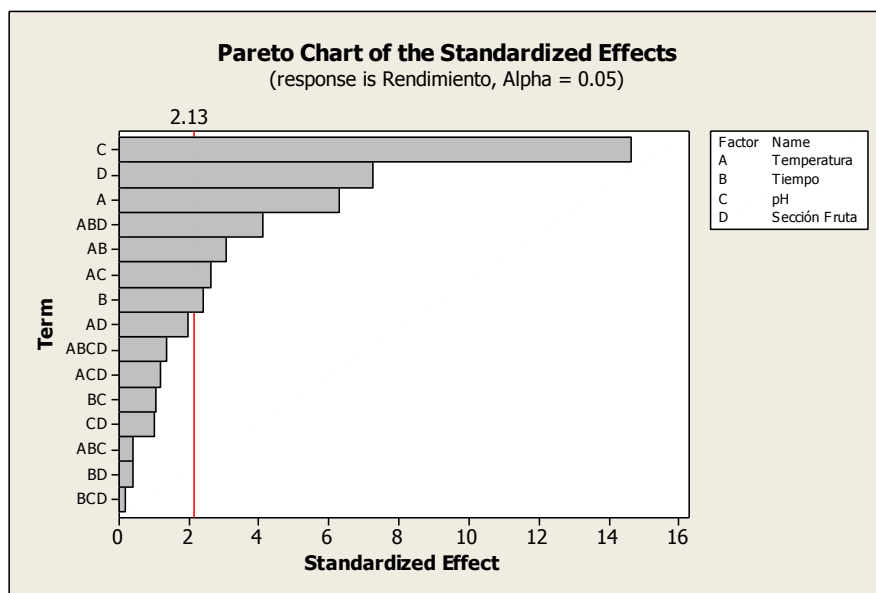
- Gráfico de interacciones



- Gráfico de los efectos principales



- Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados



- Prueba de Tukey

	<i>Tratamientos</i>	<i>Media</i>
Temperatura	90 °C	21.8 ^a
	80 °C	16.4 ^b
Tiempo	90 min	20.1 ^a
	45 min	18.1 ^a
pH	1.5	25.3 ^a
	3	12.9 ^b
Sección fruta	Pulpa	22.2 ^a
	Cáscara	16.0 ^b

^{a, b} Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

ANEXO E. VALORES ARROJADOS POR MINITAB PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA GRADO DE ESTERIFICACIÓN

04/10 9:41:31

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4, 16
Runs: 48 Replicates: 3
Blocks: 3 Center pts (total): 0

Block Generators: replicates

All terms are free from aliasing.

Design Table (randomized)

Run	Block	A	B	C	D
1	3	-	-	-	+
2	3	-	-	-	-
3	3	-	-	+	+
4	3	+	+	+	-
5	3	-	+	+	+
6	3	+	-	+	-
7	3	-	+	+	-
8	3	+	-	-	+
9	3	+	+	-	-
10	3	+	-	-	-
11	3	-	+	-	-
12	3	-	+	-	+
13	3	+	+	+	+
14	3	-	-	+	-
15	3	+	-	+	+
16	3	+	+	-	+
17	1	-	+	+	+
18	1	+	-	-	+
19	1	-	+	+	-
20	1	+	-	-	-
21	1	-	-	-	-
22	1	-	+	-	+
23	1	+	-	+	-
24	1	-	+	-	-
25	1	+	-	+	+
26	1	+	+	-	-
27	1	-	-	+	-
28	1	+	+	+	+
29	1	-	-	-	+
30	1	-	-	+	+
31	1	+	+	+	-
32	1	+	+	-	+
33	2	-	-	+	+
34	2	-	-	+	-

35	2	-	+	-	+
36	2	-	+	+	-
37	2	+	+	+	-
38	2	+	-	-	+
39	2	+	+	-	-
40	2	+	+	-	+
41	2	+	+	+	+
42	2	-	-	-	+
43	2	-	+	-	-
44	2	-	+	+	+
45	2	+	-	+	-
46	2	+	-	+	+
47	2	-	-	-	-
48	2	+	-	-	-

Factorial Fit: GRADO DE ESTERIF versus Block, Temperatura, Tiempo, ...

Estimated Effects and Coefficients for GRADO DE ESTERIFICACIÓN (coded units)

Term	Effect	Coef	SECoef	T	P
Constant		81.912	0.1410	581.04	0.000
Block 1		0.196	0.1994	0.98	0.333
Block 2		-0.115	0.1994	-0.57	0.570
Temperatura	-1.180	-0.590	0.1410	-4.19	0.000
Tiempo	-1.694	-0.847	0.1410	-6.01	0.000
pH	23.307	11.653	0.1410	82.66	0.000
Sección Fruta	5.798	2.899	0.1410	20.57	0.000
Temperatura*Tiempo	0.503	0.252	0.1410	1.79	0.084
Temperatura*pH	1.296	0.648	0.1410	4.60	0.000
Temperatura*Sección Fruta	-1.082	-0.541	0.1410	-3.84	0.001
Tiempo*pH	0.370	0.185	0.1410	1.31	0.199
Tiempo*Sección Fruta	1.033	0.517	0.1410	3.66	0.001
pH*Sección Fruta	-2.223	-1.111	0.1410	-7.88	0.000
Temperatura*Tiempo*pH	-1.149	-0.575	0.1410	-4.08	0.000
Temperatura*Tiempo*Sección Fruta	-1.316	-0.658	0.1410	-4.67	0.000
Temperatura*pH*Sección Fruta	0.403	0.202	0.1410	1.43	0.163
Tiempo*pH*Sección Fruta	0.581	0.290	0.1410	2.06	0.048
Temperatura*Tiempo*pH*Sección Fruta	0.262	0.131	0.1410	0.93	0.361

S = 0.976706 PRESS = 73.2637
R-Sq = 99.60% R-Sq(pred) = 98.98% R-Sq(adj) = 99.37%

Analysis of Variance for GRADO DE ESTERIFICACIÓN (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Blocks	2	0.93	0.93	0.47	0.49
Main Effects	4	6973.01	6973.01	1743.25	1827.39
Temperatura	1	16.71	16.71	16.71	17.52
Tiempo	1	34.44	34.44	34.44	36.10
pH	1	6518.41	6518.41	6518.41	6833.04
SecciónFruta	1	403.45	403.45	403.45	422.92
2-Way Interactions	6	110.98	110.98	18.50	19.39

Temperatura*Tiempo	1	3.04	3.04	3.04	3.19
Temperatura*pH	1	20.15	20.15	20.15	21.12
Temperatura*Sección Fruta	1	14.06	14.06	14.06	14.74
Tiempo*pH	1	1.64	1.64	1.64	1.72
Tiempo*Sección Fruta	1	12.81	12.81	12.81	13.43
pH*SecciónFruta	1	59.27	59.27	59.27	62.14
3-Way Interactions	4	42.62	42.62	10.66	11.17
Temperatura*Tiempo*pH	1	15.85	15.85	15.85	16.61
Temperatura*Tiempo*Sección Fruta	1	20.78	20.78	20.78	21.78
Temperatura*pH*Sección Fruta	1	1.95	1.95	1.95	2.05
Tiempo*pH*Sección Fruta	1	4.05	4.05	4.05	4.24
4-Way Interactions	1	0.82	0.82	0.82	0.86
Temperatura*Tiempo*pH*Sección Fruta	1	0.82	0.82	0.82	0.86
Residual Error	30	28.62	28.62	0.95	
Total	47	7156.99			

Source	P
Blocks	0.619
MainEffects	0.000
Temperatura	0.000
Tiempo	0.000
pH	0.000
Sección Fruta	0.000
2-Way Interactions	0.000
Temperatura*Tiempo	0.084
Temperatura*pH	0.000
Temperatura*Sección Fruta	0.001
Tiempo*pH	0.199
Tiempo*Sección Fruta	0.001
pH*SecciónFruta	0.000
3-Way Interactions	0.000
Temperatura*Tiempo*pH	0.000
Temperatura*Tiempo*Sección Fruta	0.000
Temperatura*pH*Sección Fruta	0.163
Tiempo*pH*Sección Fruta	0.048
4-Way Interactions	0.361
Temperatura*Tiempo*pH*Sección Fruta	0.361
Residual Error	
Total	

UnusualObservationsfor GRADO DE ESTERIFICACIÓN

GRADO DE						
ObsStdOrder	ESTERIFICACIÓN		Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	42	75.4300	72.9752	0.5981	2.4548	3.18R
32	12	74.0000	71.7160	0.5981	2.2840	2.96R
38	26	70.7700	72.9421	0.5981	-2.1721	-2.81R
39	20	67.6300	65.9954	0.5981	1.6346	2.12R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for GRADO DE ESTERIFICACIÓN using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	194.978
Block 1	0.196042
Block 2	-0.114583

Temperatura	-1.69200
Tiempo	-1.55485
pH	-38.9600
Sección Fruta	-26.7883
Temperatura*Tiempo	0.0175593
Temperatura*pH	0.632444
Temperatura*Sección Fruta	0.401000
Tiempo*pH	0.589802
Tiempo*Sección Fruta	0.777889
pH*Sección Fruta	1.6822
Temperatura*Tiempo*pH	-0.00680988
Temperatura*Tiempo*Sección Fruta	-0.00933704
Temperatura*pH*Sección Fruta	-0.050889
Tiempo*pH*Sección Fruta	-0.114593
Temperatura*Tiempo*pH*Sección Fruta	0.00155062

LeastSquaresMeansfor GRADO DE ESTERIFICACIÓN

	Mean	SE	Mean
Temperatura			
80	82.50	0.1994	
90	81.32	0.1994	
Tiempo			
45	82.76	0.1994	
90	81.06	0.1994	
pH			
1.500	70.26	0.1994	
3.000	93.57	0.1994	
Sección Fruta			
Cáscara	79.01	0.1994	
Pulpa	84.81	0.1994	

General Linear Model: GRADO DE EST versus Sección Frut, Temperatura, ...

Factor	Type	Levels	Values
SecciónFruta	fixed	2	Cáscara, Pulpa
Temperatura	fixed	2	80, 90
Tiempo	fixed	2	45, 90
pH	fixed	2	1.5, 3.0

Analysis of Variance for GRADO DE ESTERIFICACIÓN, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Sección Fruta	1	403.4	403.4	403.4	94.30	0.000
Temperatura	1	16.7	16.7	16.7	3.91	0.055
Tiempo	1	34.4	34.4	34.4	8.05	0.007
pH	1	6518.4	6518.4	6518.4	1523.50	0.000
Error	43	184.0	184.0	4.3		
Total	47	7157.0				

S = 2.06847 R-Sq = 97.43% R-Sq(adj) = 97.19%

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Temperatura	N	Mean	Grouping
80	24	82.5	A
90	24	81.3	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Tiempo	N	Mean	Grouping
45	24	82.8	A
90	24	81.1	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

pH	N	Mean	Grouping
3.0	24	93.6	A
1.5	24	70.3	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Sección	N	Mean	Grouping
Fruta	24	84.8	A
Cáscara	24	79.0	B

Means that do not share a letter are significantly different.

General Regression Analysis: GRADO DE EST versus Temperatura, Tiempo, pH, ...

Box-Cox transformation of the response with rounded lambda = 2
The 95% CI for lambda is (1.705, *)

Regression Equation

Sección

Fruta

Cáscara GRADO DE ESTERIFICACIÓN^2 = 2565.44 - 17.187 Temperatura - 5.8809
Tiempo + 2534.29 pH

Pulpa GRADO DE ESTERIFICACIÓN^2 = 3463.35 - 17.187 Temperatura - 5.8809
Tiempo + 2534.29 pH

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P	95% CI
Constant	3014.40	728.068	4.1403	0.000	(1546.11, 4482.69)
Temperatura	-17.19	8.297	-2.0714	0.044	(-33.92, -0.45)

Tiempo	-5.88	1.844	-3.1896	0.003	(-9.60, -2.16)
pH	2534.29	55.314	45.8164	0.000	(2422.74, 2645.84)
Sección Fruta					
Cáscara	-448.95	41.486	-10.8220	0.000	(-532.62, -365.29)

Summary of Model

S = 287.420 R-Sq = 98.11% R-Sq(adj) = 97.93%
 PRESS = 4426376 R-Sq(pred) = 97.64%

Analysis of Variance

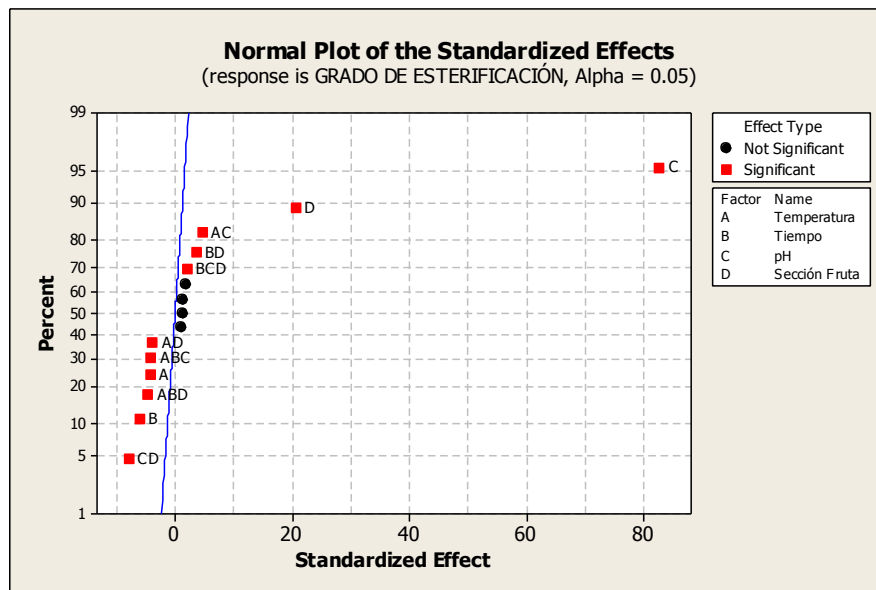
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	184280790	184280790	46070197	557.68	0.0000000
Temperatura	1	354473	354473	354473	4.29	0.0443507
Tiempo	1	840415	840415	840415	10.17	0.0026593
pH	1	173411008	173411008	173411008	2099.14	0.0000000
Sección Fruta	1	9674894	9674894	9674894	117.11	0.0000000
Error	43	3552243	3552243	82610		
Lack-of-Fit	11	2907652	2907652	264332	13.12	0.0000000
Pure Error	32	644591	644591	20143		
Total	47	187833033				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations for Transformed Response

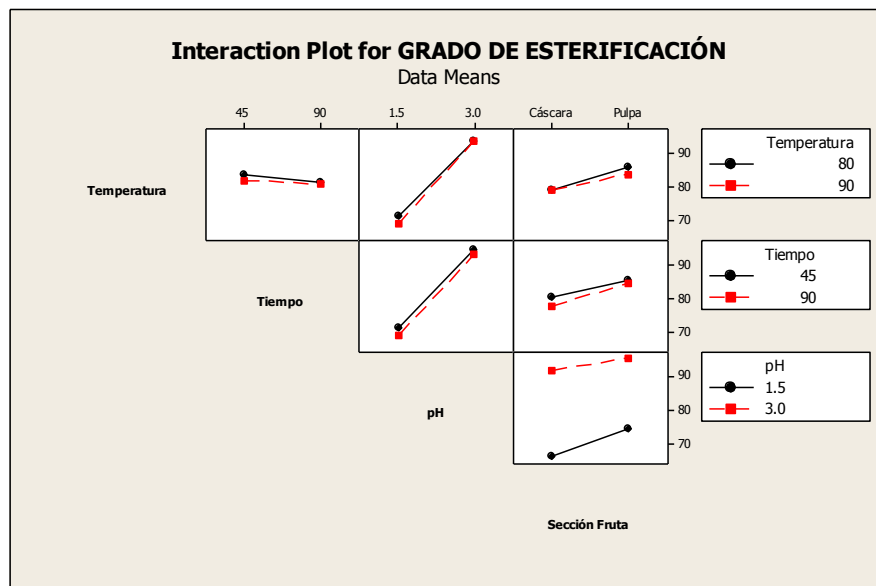
No unusual observations

ANEXO F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL GRADO DE ESTERIFICACIÓN

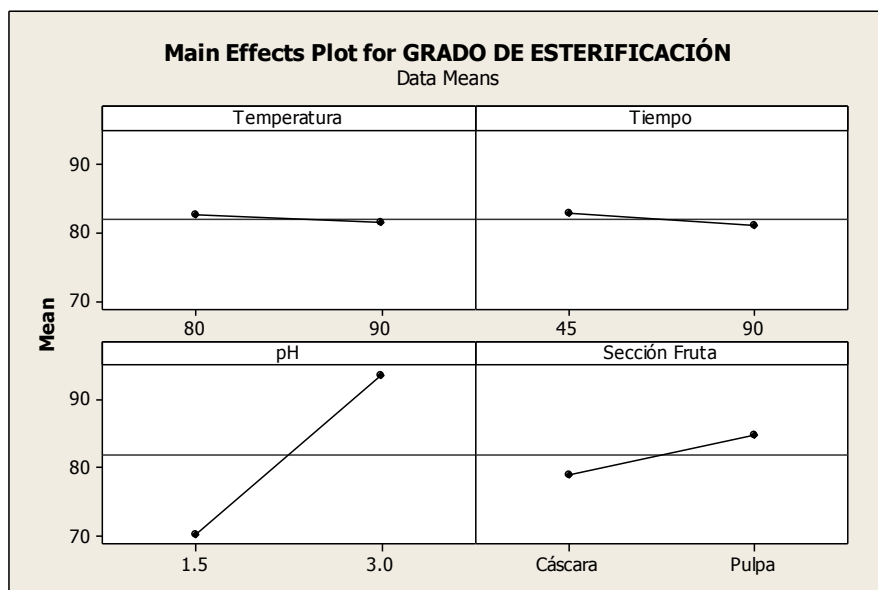
- Gráfico normal de los efectos estandarizados



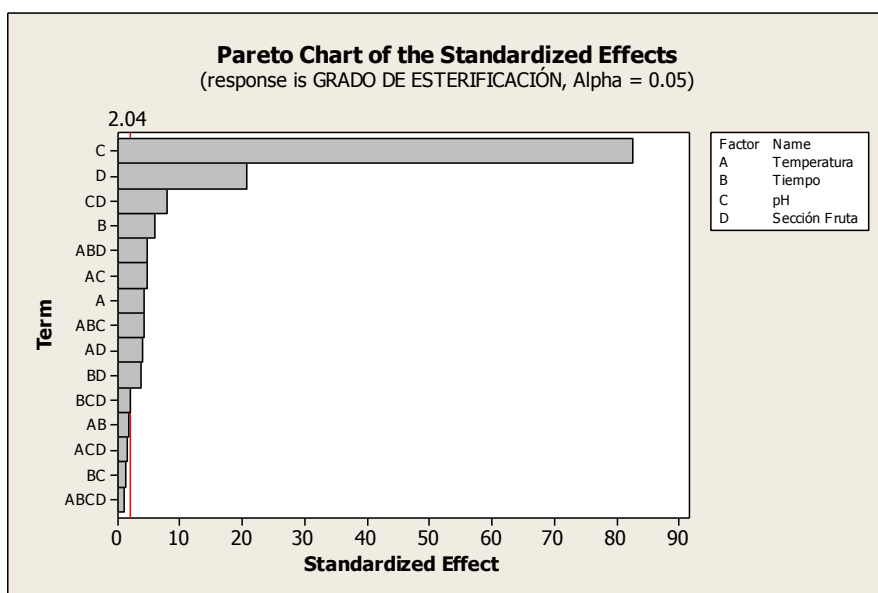
- Gráfico de Interacciones



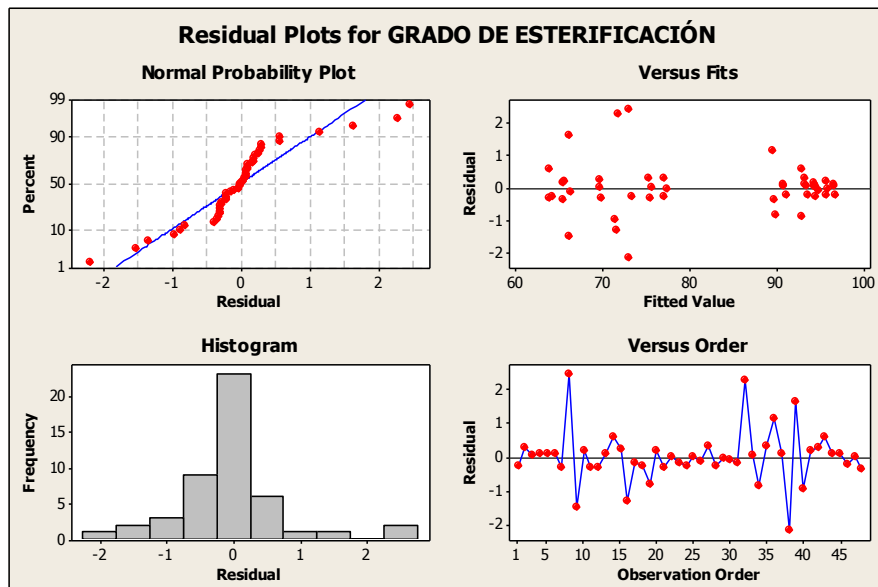
- Gráfico de Efectos Principales



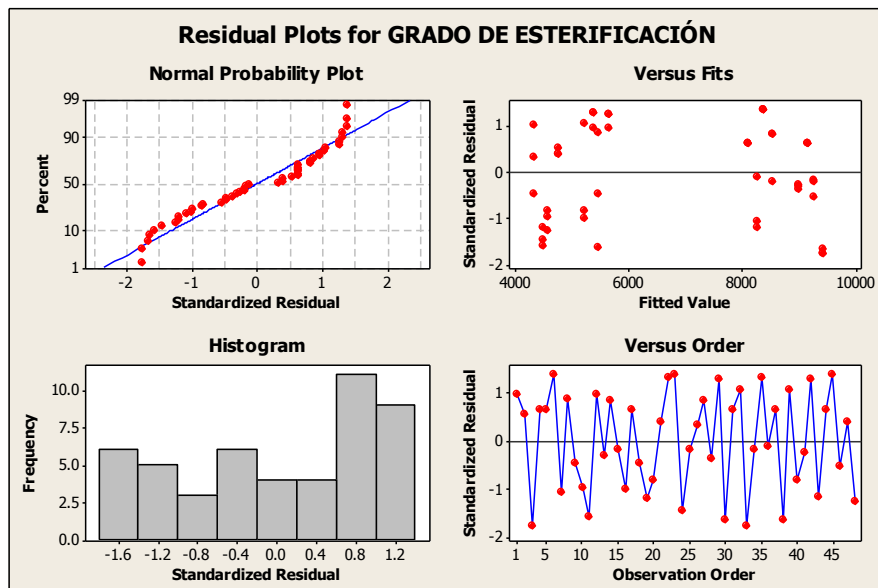
- Gráfico de Pareto



- Gráficos de los residuos antes de transformar los datos.



- Gráficos de los residuos antes de transformar los datos.

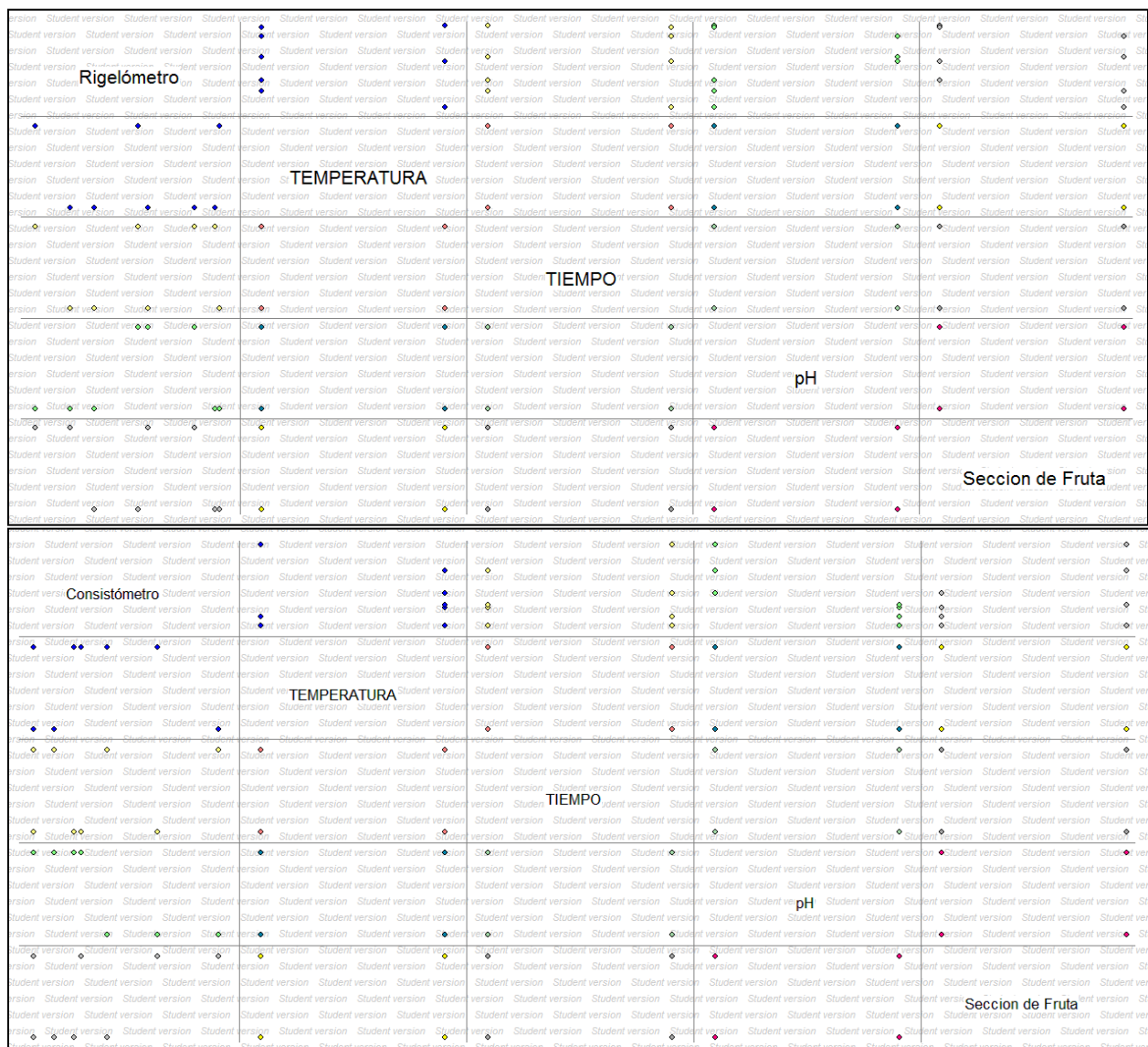


- Prueba de Tukey

	<i>Tratamientos</i>	<i>Media</i>
Temperatura	90 °C	82.5 ^a
	80 °C	81.3 ^a
Tiempo	90 min	82.8 ^a
	45 min	81.1 ^b
pH	1.5	93.6 ^a
	3	70.3 ^b
Sección fruta	Pulpa	84.8 ^a
	Cáscara	79.0 ^b

^{a, b} medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

ANEXO G. ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS DATOS DEL RIGELÓMETRO Y CONSISTÓMETRO



- Resultados del análisis de varianza para la interacción sección de fruta-ph

Analysis of variance

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Rigelómetro	8	0.64	0.37	15.90

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	1680.51	3	560.17	2.38	0.2103
SECCION FRUTA_pH	1680.51	3	560.17	2.38	0.2103
Error	940.51	4	235.13		
Total	2621.02	7			

Test:Tukey Alpha:=0.10 LSD:=51.54831

Error: 235.1284 df: 4

SECCION FRUTA_pH	Means	n	S.E.
cáscara_1.50	106.92	3	8.85 A
pulpa_3.00	105.40	2	10.84 A
cáscara_3.00	96.07	1	15.33 A
pulpa_1.50	72.04	2	10.84 A

Means with a common letter are not significantly different ($p \leq 0.10$)

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Consistómetro	8	0.87	0.78	17.78

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	0.16	3	0.05	9.06	0.0295
SECCION FRUTA_pH	0.16	3	0.05	9.06	0.0295
Error	0.02	4	0.01		
Total	0.18	7			

Test:Tukey Alpha:=0.10 LSD:=0.25524

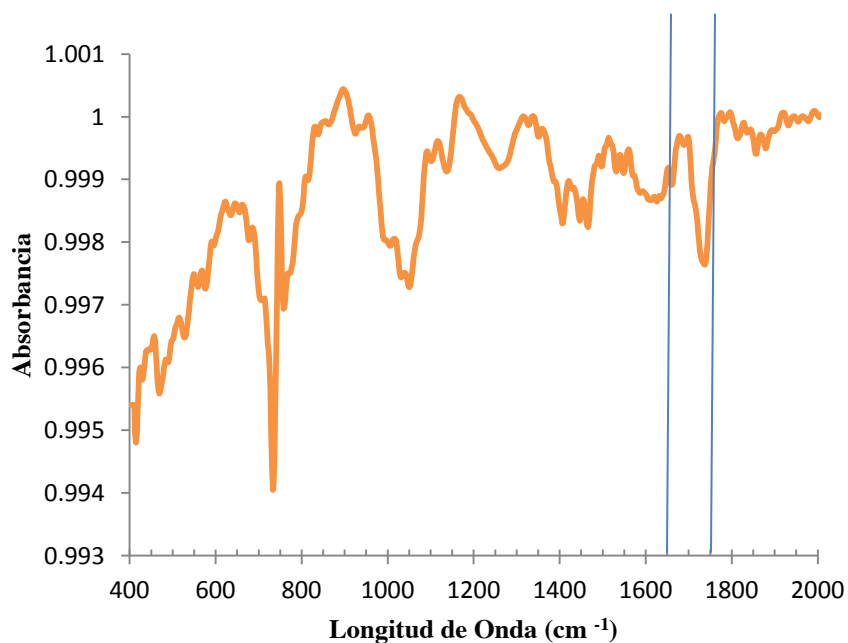
Error: 0.0058 df: 4

SECCION FRUTA_pH	Means	n	S.E.
pulpa_1.50	0.66	2	0.05 A
cáscara_1.50	0.46	1	0.08 A B
pulpa_3.00	0.33	2	0.05 B
cáscara_3.00	0.33	3	0.04 B

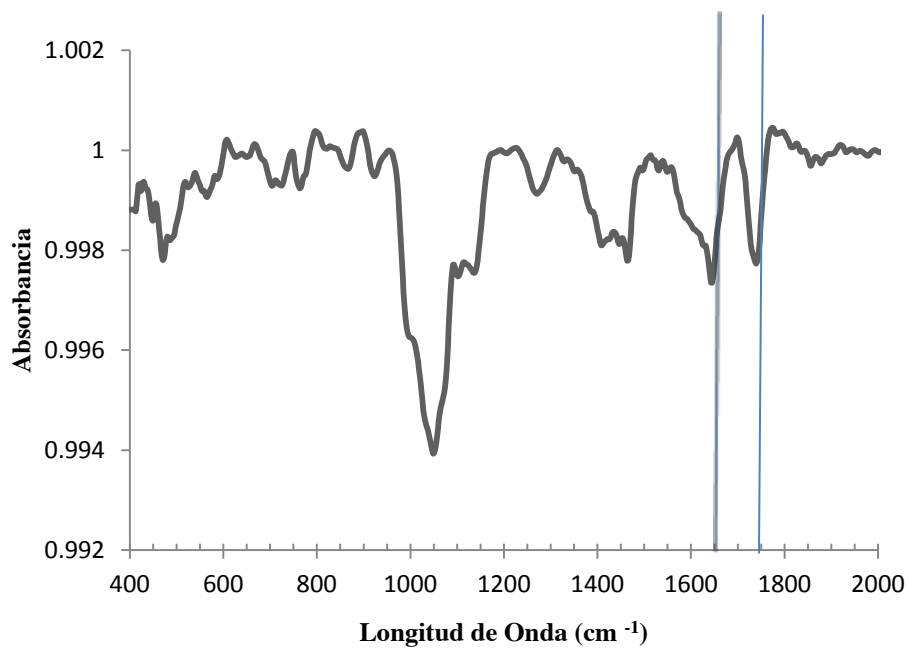
Means with a common letter are not significantly different ($p \leq 0.10$)

ANEXO H. ESPECTROS DE INFRAROJO CON TRANSFORMADAS DE FOURIER (FTIR) PARA LAS PECTINAS DE PULPA Y CASCARA

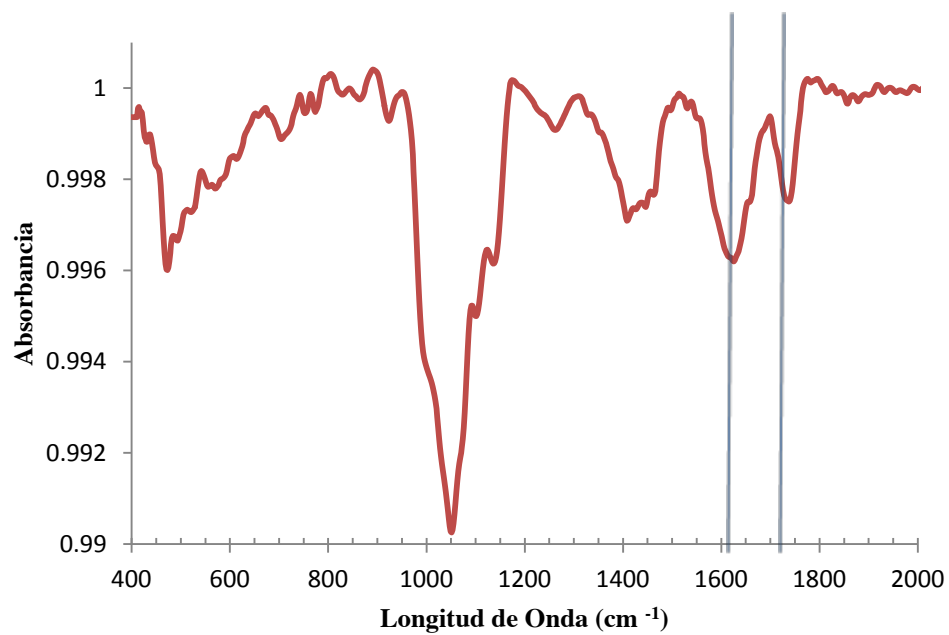
- Espectro FTIR para la corrida 2 (Pulpa)



- Espectro FTIR para la corrida 9 (Pulpa)



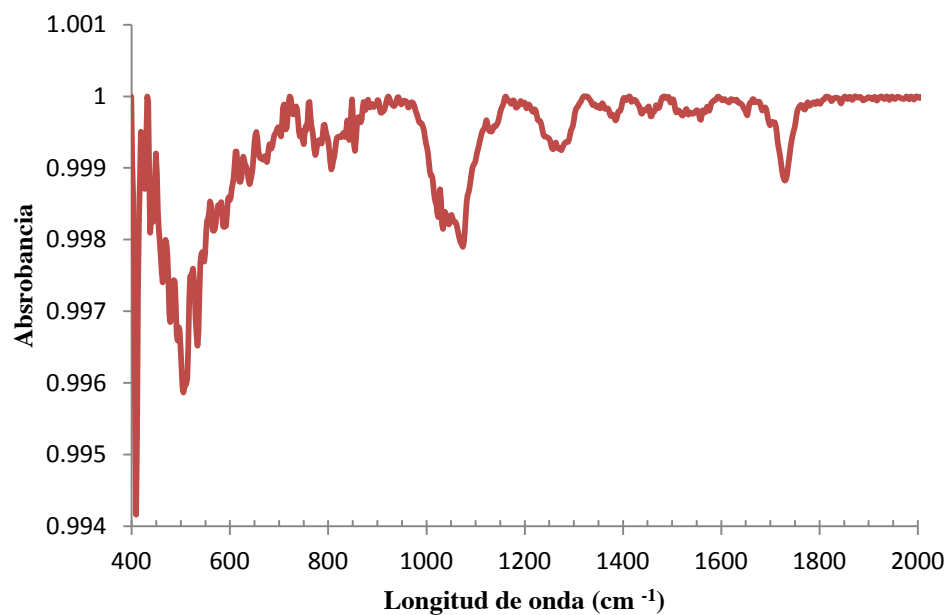
- Espectro FTIR para la corrida 11 (Pulpa)



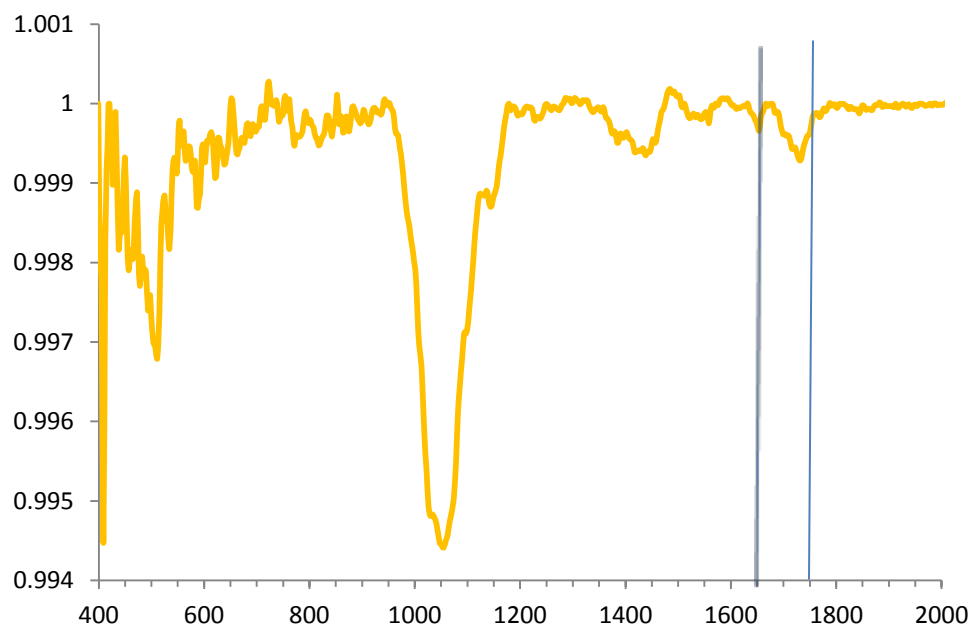
- Espectro FTIR para la corrida 6(cáscara)



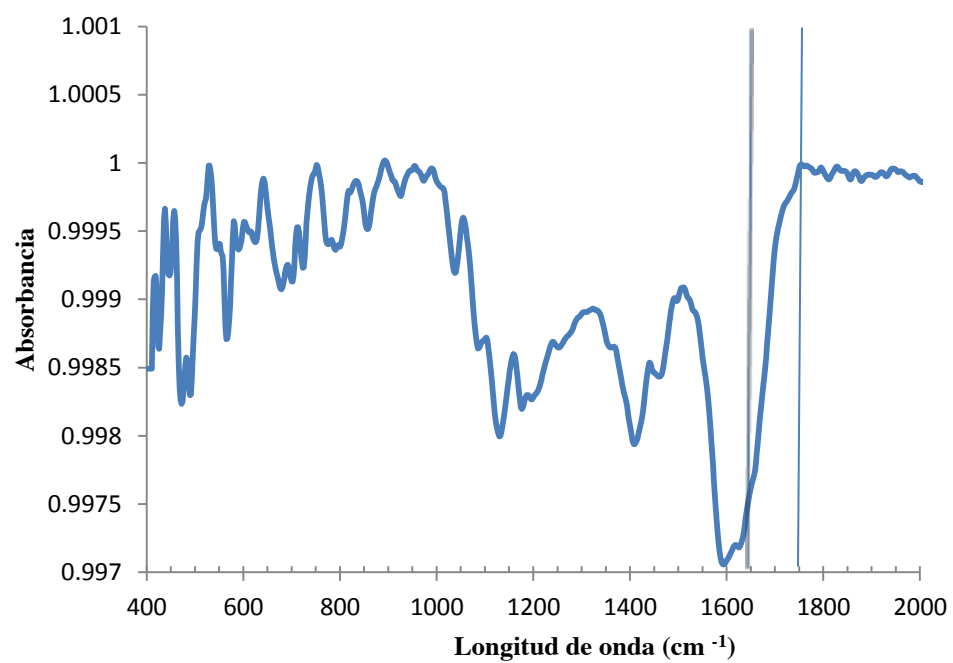
- Espectro FTIR para la corrida 10(cáscara)



- Espectro FTIR para la corrida 12 (cáscara)



- Espectro FTIR para la corrida 15 (cáscara)



ANEXO I. FOTOGRAFIAS DEL PROCESO DE PRE-TRATAMIENTO Y EXTRACCIÓN

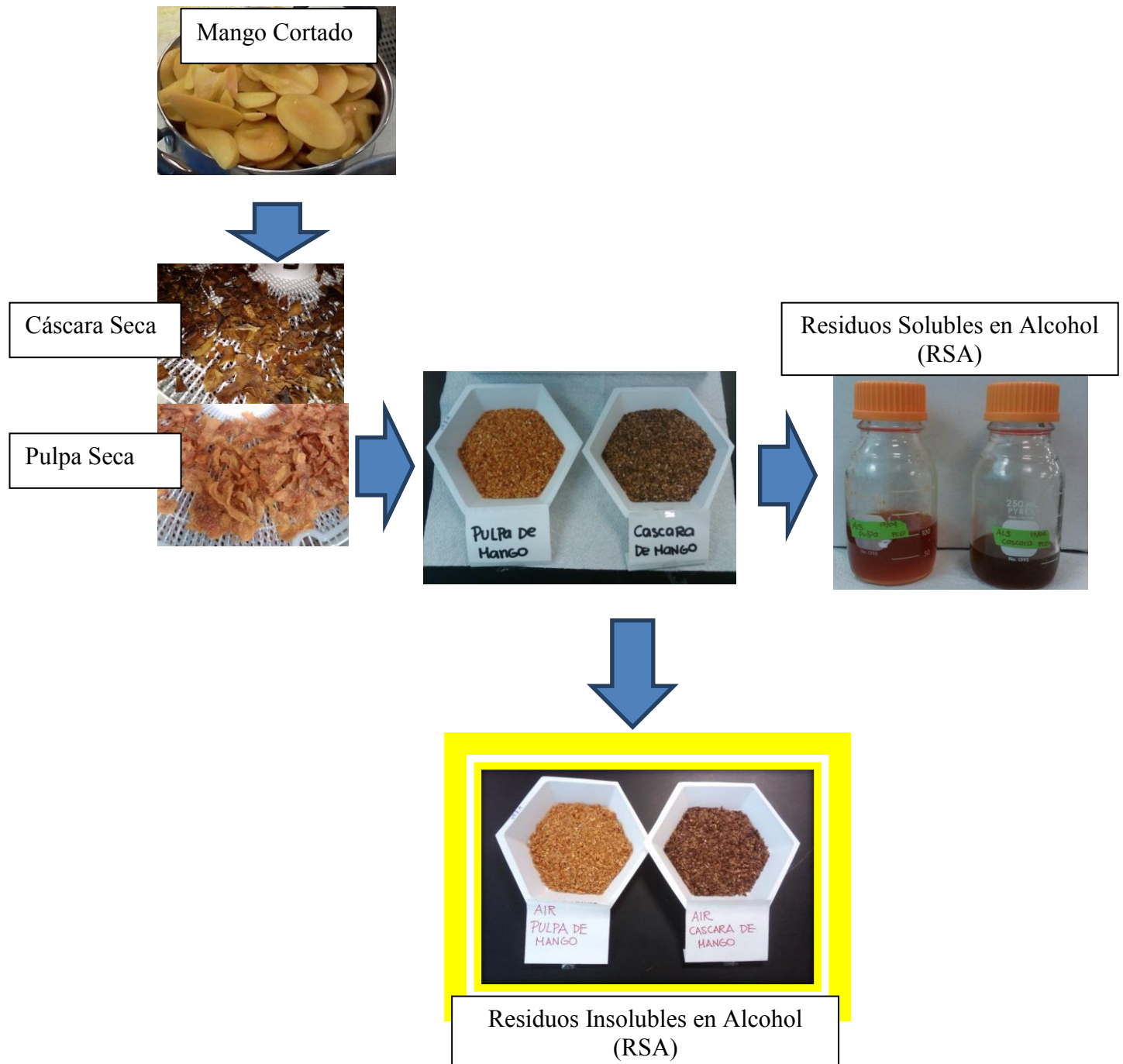


Ilustración 1. Fotos del Proceso de pre-tratamiento del Mango

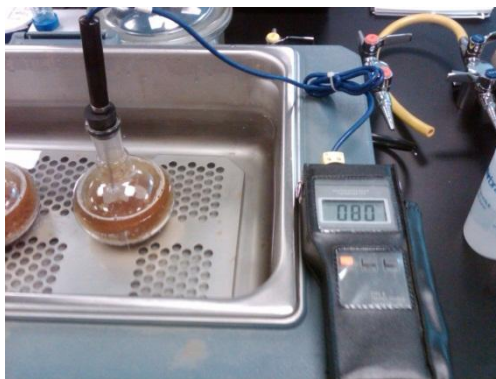


Ilustración 2. Fotografía del proceso de extracción de pectinas de cáscara de Mango a 80 °C

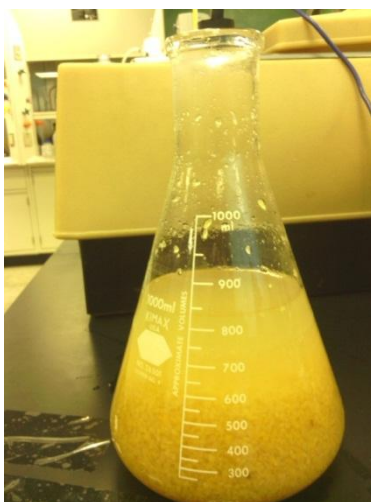


Ilustración 3. Solución extractora posterior al proceso de extracción de la pulpa de Mango



Ilustración 4. Fotografías de pectinas de Cáscara y Pulpa de Mango previas a etapa de secado

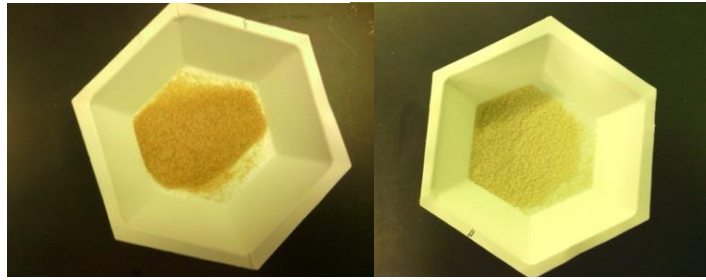


Ilustración 6. Pectina seca y tamizada de Pulpa y Cáscara de Mango

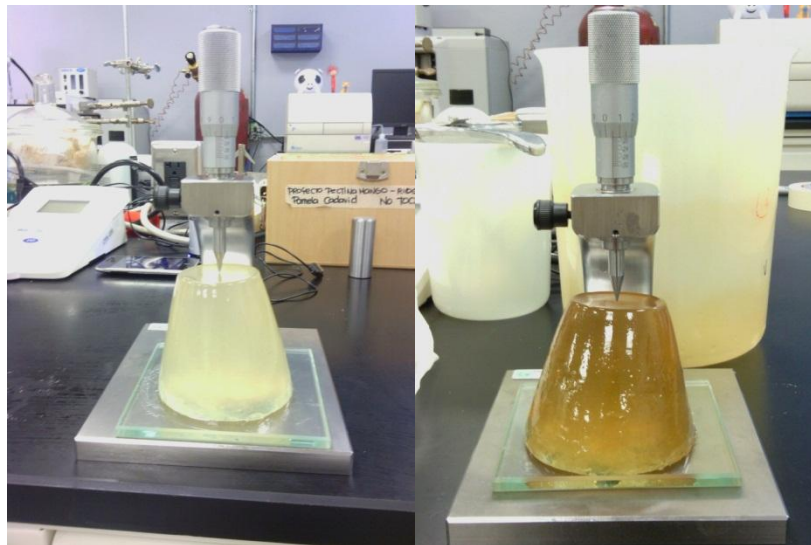


Ilustración 5. Geles de pectinas de Pulpa y Cáscara de Mango