

**CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

**UNIDAD ZACATENCO**

**DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGIA Y BIOINGENIERIA**

**Obtención y caracterización de pectina de variedades de mango indostano  
(*Manguifera indica* L.) para su aprovechamiento funcional como agente  
estabilizante**

Tesis que presenta:

**Juan Pascual Ramírez**

Para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**EN LA ESPECIALIDAD DE BIOTECNOLOGÍA**

Directora de tesis: **Dra. Emma Gloria Ramos Ramírez**

**CIUDAD DE MÉXICO**

**SEPTIEMBRE DE 2018**

El presente trabajo fue desarrollado en el Laboratorio de Toxicología de Alimentos del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN) bajo la dirección de la Dra. Emma Gloria Ramos Ramírez.

Se agradece el apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) mediante la beca número 219099 para la realización de estudios de Doctorado y el desarrollo del presente proyecto de investigación.

# AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Emma Gloria Ramos Ramírez por su inestimable ayuda y paciencia en la dirección de este trabajo.

A los miembros del comité tutorial

Dr. Juan Alfredo Salazar Montoya

Dr. Graciano Calva Calva

Dr. Alfredo Cruz Orea

Dr. Leandro Chaires Martínez

Por sus atinadas sugerencias y aportaciones para la realización y culminación de este proyecto.

A la Biol. Pilar Méndez Castrejón, por su apoyo técnico en el análisis químico proximal.

Al Ing. Miguel Márquez Robles por su apoyo técnico en el análisis instrumental de las pectinas.

# DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos por todo el amor, paciencia y apoyo sobre todo en los momentos más difíciles. Mil gracias familia por ser parte de mi crecimiento.

A mis profesores y compañeros del Posgrado en Biotecnología (CINVESTAV-IPN) y a mis amigos de la Maestría en Ciencias en Alimentos (ENCB-IPN), en general.

A mis compañeros profesores de laUPIBI-IPN, a mis alumnos y exalumnos, gracias a lo cual he vivido el fascinante mundo de la academia y la docencia.

# INDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
NOMENCLATURA .....	viii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
2. ANTECEDENTES .....	4
2.1. Carbohidratos .....	4
2.2. Estructura química de la pectina.....	5
2.3. Fuentes de extracción de pectina .....	7
2.4. Producción de mango .....	7
2.5. Estado del arte.....	9
3. JUSTIFICACION .....	12
4. HIPOTESIS .....	12
5. OBJETIVOS .....	14
6. MATERIALES Y METODOS .....	16
6.1 Etapas experimentales. ....	16
6.2. Caracterización fisicoquímica de la materia prima.....	18
6.2.1. Cuantificación de las fracciones de los frutos.....	18
6.2.2. Sólidos solubles totales .....	19
6.2.3. Acidez.....	19
6.2.4. pH.....	19
6.2.5. Índice de madurez .....	19
6.3. Análisis químico proximal de la materia prima .....	19

6.3.1. Humedad .....	20
6.3.2. Carbohidratos totales.....	20
6.3.3. Proteína .....	20
6.3.4. Extracto etéreo .....	20
6.3.5. Fibra cruda .....	21
6.3.6. Cenizas.....	21
6.4 Estandarización del método de extracción de pectina .....	21
6.5. Extracción de pectina.....	22
6.6. Caracterización química de la pectina .....	23
6.6.1. Humedad .....	23
6.6.2. Proteínas .....	24
6.6.3. Extracto etéreo .....	24
6.6.4. Ácido galacturónico .....	24
6.6.5. Acetilación .....	24
6.6.6. Metoxilación.....	24
6.7. Caracterización física.....	24
6.7.1. Viscosidad intrínseca.....	24
6.7.2. Peso molecular .....	26
6.7.3. Punto de fusión.....	26
6.8. Comportamiento al flujo .....	27
6.9. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) .....	27
6.10. Espectroscopía infrarrojo con transformadas de Fourier (FT-IR).....	27
6.11. Caracterización funcional.....	27
6.11.1. Fibra dietaria.....	28
6.11.2. Capacidad de retención de agua .....	30

6.11.3. Capacidad de retención de aceite .....	31
6.11.4. Propiedad emulsificante .....	31
6.12. Selección de una variedad con base en su propiedad emulsificante.....	32
6.12.1. Comportamiento al flujo a distintas concentraciones.....	32
6.12.2. Optimización en la obtención de las emulsiones .....	33
6.12.3. Microscopía de las emulsiones.....	33
7. RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
7.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima.....	35
7.2. Análisis químico proximal de la materia prima .....	37
7.2.1. Cáscara .....	38
7.2.2. Pulpa .....	39
7.2.3. Semilla.....	39
7.3. Acondicionamiento del método de extracción de pectina. ....	40
7.4. Extracción de pectina de mango.....	42
7.5. Caracterización química de la pectina .....	43
7.5.1. Humedad .....	43
7.5.2. Proteínas .....	43
7.5.3. Extracto etéreo .....	44
7.5.4. Ácido galacturónico .....	46
7.5.5. Acetilación .....	47
7.5.6. Metoxilación.....	49
7.6. Caracterización física.....	50
7.6.1. Viscosidad intrínseca y peso molecular.....	51
7.6.2. Punto de fusión.....	53
7.7. Calorimetría diferencial de barrido .....	54



7.8. Comportamiento al flujo.....	60
7.9. Espectroscopía infrarrojo con transformadas de Fourier (FT-IR).....	64
7.10. Caracterización funcional.....	67
7.10.1. Fibra dietaria.....	67
7.10.2. Capacidad de retención de agua.....	69
7.10.3. Capacidad de retención de aceite.....	70
7.10.4. Propiedad emulsificante.....	72
7.11. Selección de una variedad con base en su propiedad emulsificante.....	74
7.12.1. Comportamiento al flujo de pectina de pulpa de mango Tommy Atkins. .	75
7.12.2. Optimización para la obtención de emulsiones.....	79
7.12.3. Microscopía de las emulsiones.....	81
8. CONCLUSIONES.....	85
9. RECOMENDACIONES.....	87
10. BIBLIOGRAFIA.....	89

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Países productores de mango durante el año 2008.....	8
Tabla 2. Principales variedades de mango cultivadas en México. ....	8
Tabla 3. Variables experimentales para la extracción de pectina. ....	21
Tabla 4. Cantidad de cáscara, pulpa y semilla de las variedades indostanas. ....	36
Tabla 5. Índice de madurez de las variedades analizadas.....	36
Tabla 6. Análisis químico proximal de la cáscara de mango indostano. ....	38
Tabla 7. Análisis químico proximal de la pulpa de mango indostano. ....	39
Tabla 8. Análisis químico proximal de la semilla de mango indostano.....	40
Tabla 9. Rendimiento en la extracción de pectina de mango Keitt.....	41
Tabla 10. Cuantificación de proteínas en las muestras de pectina. ....	44
Tabla 11. Proteínas en pectina de mango de dos variedades de mango ....	44
Tabla 12. Cuantificación de lípidos en pectina cítrica y pectina de mango. ....	45
Tabla 13. Determinación de acetilos en pectina cítrica y pectina de mango.....	49
Tabla 14. Viscosidad intrínseca y peso molecular en pectina de cáscara de mango.	52
Tabla 15. Viscosidad intrínseca y peso molecular en pectina de pulpa de mango. ...	52
Tabla 16. Parámetros calorimétricos en pectinas de cáscara de mango por DSC. ...	59
Tabla 17. Parámetros calorimétricos en pectinas de pulpa de mango por DSC. ....	60
Tabla 18. Fibra soluble en pectina cítrica y pectina de mango. ....	68
Tabla 19. Fibra insoluble en pectina cítrica y pectina de mango.....	69
Tabla 20. Capacidad de retención de agua en muestras de pectina. ....	70
Tabla 21 Capacidad de retención de aceite en muestras de pectina.....	71
Tabla 22. Parámetros reológicos de la ecuación de Ostwald de Waele en dispersiones de pectina de pulpa de mango Tommy Atkins y en pectina cítrica comercial. ....	78

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Molécula de glucosa. ....	4
Figura 2. Molécula de pectina cítrica.....	5
Figura 3. Estructura del homogalacturonano. ....	6
Figura 4. Estrategia experimental del proyecto. ....	16
Figura 5. Caracterización y conservación de la materia prima.....	17
Figura 6. Análisis químico proximal de las fracciones.....	17
Figura 7. Acondicionamiento del método de extracción de pectina. ....	17
Figura 8. Caracterización física, química y funcional de la pectina.....	18
Figura 9. Diagrama de bloques para la extracción de pectina. ....	22
Figura 10. Diagrama de bloques para la cuantificación de la fibra dietaria. ....	28
Figura 11. Morfología de las variedades estudiadas en el proyecto. ....	35
Figura 12. Fracciones deshidratadas de mango: a) Cáscara, b) Pulpa y c) Semilla. .	37
Figura 13. Estructura del endospermo: a) Testa, b) Pergamino y c) Germen. ....	37
Figura 14. Precipitación con etanol en la extracción de pectina.....	41
Figura 15. Rendimiento en la extracción de pectina de mango.....	42
Figura 16. Curva de calibración para la determinación de ácido galacturónico. ....	46
Figura 17. Ácido galacturónico en pectina de mango. ....	46
Figura 18. Ácido galacturónico en pectina de pulpa de mango.....	47
Figura 19. Curva de calibración para la determinación de acetilos. ....	48
Figura 20. Grado de metoxilación en pectina de cáscara de mango. ....	50
Figura 21. Grado de metoxilación en pectina de pulpa de mango. ....	50
Figura 22. Concentración contra densidad en dispersiones de pectina. ....	51
Figura 23. Equipo para la medición del punto de fusión. ....	53

Figura 24. Tubos capilares con pectina calcinada. ....	53
Figura 25. Temperatura de descomposición térmica en pectina cítrica y de mango..	54
Figura 26. Establecimiento de las condiciones de operación para DSC. ....	55
Figura 27. Termograma de pectina cítrica y de cáscara de mango Tommy Atkins....	56
Figura 28. Termogramas de pectina de cáscara de mango y pectina cítrica. ....	57
Figura 29. Termogramas de pectina de pulpa de mango y pectina cítrica.....	58
Figura 30. Comportamiento al flujo de la pectina de cáscara de mango.....	61
Figura 31. Comportamiento al flujo de pectina cítrica. ....	62
Figura 32. Comportamiento al flujo de pectina de pulpa de mango. ....	63
Figura 33. Espectro infrarrojo para la pectina cítrica. ....	64
Figura 34. Espectro infrarrojo para la pectina de cáscara de mango. ....	65
Figura 35. Espectro infrarrojo para la pectina de pulpa de mango.....	66
Figura 36. Capacidad emulsificante en pectina de cáscara y pulpa de mango.....	72
Figura 37. Estabilidad emulsificante en pectina de cáscara y pulpa de mango. ....	73
Figura 38. Estabilidad de emulsiones para tres variedades de pectina de mango seleccionadas. ....	74
Figura 39. a) Comportamiento al flujo de dispersiones de pectina de pulpa de mango Tommy Atkins (PPM) y pectina cítrica comercial (PCC) b) Viscosidad aparente en dispersiones de PPM y PCC.....	76
Figura 40. Comportamiento de la viscosidad en dispersiones de PPM y de PCC en función de la concentración.....	77
Figura 41. Capacidad emulsificante en MPP (a, b), PCC (c, d) y GA (e, f). Gráficas de superficie de respuesta (a, c, e) y de contorno (b, d, f). ....	80
Figura 42. Micrografías de las emulsiones de PPM antes y después de la prueba de estabilidad en comparación con PCC y GA. ....	82

# NOMENCLATURA

A	Acidez titulable (%)
AN <sub>i</sub>	Azúcares neutros de la fracción insoluble (%)
AN <sub>s</sub>	Azúcares neutros de la fracción soluble (%)
AU <sub>i</sub>	Acidos urónicos de la fracción insoluble (%)
AU <sub>s</sub>	Acidos urónicos de la fracción soluble (%)
C	Concentración de la pectina en la solución (kg/m <sup>3</sup> )
CRA	Capacidad de retención de agua (%)
CRO	Capacidad de retención de aceite (%)
P <sub>1</sub>	Peso inicial de la muestra (g)
P <sub>2</sub>	Peso de la muestra con agua retenida (g)
P <sub>3</sub>	Peso de la muestra con aceite retenido (g)
FDI	Fibra dietaria insoluble (%)
FDS	Fibra dietaria soluble (%)
FDT	Fibra dietaria total (%)
IM	Índice de madurez
LK	Lignina Klason (%)
M <sub>w</sub>	Peso molecular (Da)
SST	Sólidos solubles totales (%)
t <sub>1</sub>	Tiempo de desplazamiento de la solución de pectina (s)

$t_2$	Tiempo de desplazamiento del buffer (s)
$\eta$	Viscosidad de la solución de pectina (Pa.s)
$\eta_i$	Viscosidad intrínseca ( $m^3/kg$ )
$\eta_r$	Viscosidad relativa
$\eta_{red}$	Viscosidad reducida ( $m^3/kg$ )
$\eta_s$	Viscosidad del buffer (Pa.s)
$\eta_{sp}$	Viscosidad específica
$\rho_1$	Densidad de la solución de pectina ( $kg/m^3$ )
$\rho_2$	Densidad de la solución buffer ( $kg/m^3$ )

## RESUMEN

Los frutos que integran al grupo de mango indostano se caracterizan por presentar pulpa fibrosa, cáscara gruesa y un peso entre de 200 a 600 g por pieza. A pesar de su tamaño, estas características lo hacen poco interesante para la industria alimentaria, aprovechándolo solo para consumo en fresco. El mango, fruto perecedero estacional, presenta épocas de mayor producción (marzo a mayo), lo que produce sobreoferta y ocasiona disminución de un precio competitivo de comercialización. Por tanto, se requiere del desarrollo de estrategias de aprovechamiento del fruto. En este trabajo se estudiaron seis variedades del mango del grupo indostano (Tommy Atkins, Kent, Keitt, Irwin, Oro, Haden) para determinar su composición y características químicas, físicas y funcionales, con la finalidad de proponer aplicaciones potenciales de su pectina. Se estudiaron las propiedades reológicas (flujo y viscosidad), térmicas (DSC), espectroscópicas (IFTR) y funcionales (emulsificantes). El análisis químico proximal indicó que en la cáscara, pulpa y semilla el principal componente correspondió a los carbohidratos (más del 80%), de los cuales la mayor parte en la cáscara (20 %) y en la pulpa (5%) corresponde a las pectinas. Las características de las pectinas fueron distintas en función de la materia prima utilizada, por ejemplo la pectina de la cáscara de mango Oro fue la muestra que tuvo más alta viscosidad. La pectina de mango presenta muy buena capacidad emulsificante, sin embargo, la pectina de pulpa de mango Tommy Atkins fue la que presentó mayor estabilidad, siendo superior a la pectina cítrica. Por lo anterior, es posible establecer que los frutos de mango indostano pueden ser considerados como materia prima para la obtención de aditivos funcionales.

# ABSTRACT

Fruits of the industan mango group are characterized by fibrous pulp, thick skin and 200 to 600 g per fruit. These characteristics make it uninteresting for the food industry, remaining only for consumption as a fresh fruit. Mango fruits have a seasonal production, has periods of higher production (march to may), in which oversupply causes a decrease in the marketing price. The low competitive price causes many orchards to remain unharvested. In this work, six mango varieties of the industan group (Tommy Atkins, Kent, Keitt, Irwin, Gold, Haden) were studied with the objective of proposing functional applications based on their composition and chemical characteristics. The proximal chemical analysis reported that in husk, pulp and miles the main component corresponds to carbohydrates (more than 80%), of which the greater part corresponds to the pectins since important quantities of this polysaccharide were excreted in the shell (20 %) and in the pulp (5%), while in the seed it was not possible to extract important quantities. The pectins were studied by intrinsic viscosity, molecular weight, flow behavior, differential scanning calorimetry, infrared spectroscopy, and emulsification properties. The characteristics of the pectins were different depending on the raw material used, for example that the pectin from the mango peel Gold was important due to its high viscosity, while the pectin from the Tommy Atkins mango pulp has great importance for its high emulsifying capacity compared to citrus pectin. Therefore, it is possible to propose mango fruits as a raw material for obtaining functional additives.



# INTRODUCCION

# 1. INTRODUCCION

Las características físicas y químicas de una pectina dependen del tipo de materia prima, variedad, condiciones de proceso y método de extracción (Lopes da Silva y Rao, 2006). La pectina es utilizada en la industria alimentaria como gelificante, espesante, texturizante, emulsificante, estabilizador o como sustituto de grasa en alimentos de bajo aporte calórico. Su funcionalidad es atribuida a la presencia de regiones polares y no polares dentro de la molécula, lo que permite incorporarla a diferentes sistemas alimentarios (Barazarte *et al.*, 2008). La pectina comercial se obtiene industrialmente de frutos cítricos y de la pulpa de manzana (May, 1990) y como índice de pureza se evalúa el contenido de ácido galacturónico, el cual debe ser mayor al 70 % (Panchev *et al.*, 1989). Actualmente, se están buscando otras fuentes de extracción de pectina, como los residuos de remolacha azucarera (Levigne *et al.*, 2002), tejocote (Vivar-Vera *et al.*, 2007), receptáculo de girasol (Chang *et al.*, 1994), cladodios de nopal (Cárdenas y Goycoolea, 2008), cáscara de tuna (Lira-Ortíz *et al.*, 2014) y la cáscara de mango (Bernardini *et al.*, 2005). Algunos estudios han propuesto el aprovechamiento de los residuos del mango para la obtención de bioproductos de interés en la industria de alimentos. Voragen *et al.*, (1995) indican que la cáscara de mango posee alto contenido de ácido galacturónico (principal componente de las pectinas), comparable con el que se obtiene de la pulpa de manzana y la cáscara de cítricos. Koubala *et al.*, (2008) realizaron la extracción de pectina a un pH de 1.5 con HCl y determinaron un grado de metilación del 52%, usaron como materia prima cáscaras de mango de las variedades “Amelioree” y “Mango”. Actualmente hay interés en estudiar nuevas fuentes de extracción de pectina que pudieran aprovechar subproductos agroindustriales y que a su vez brinde moléculas con mejores características funcionales que las pectinas comerciales actuales. Algunos estudios proponen que a partir de la cáscara de mango (*Manguifera indica* L.) es posible extraer pectinas con calidades que cambian en función de la variedad utilizada. El mango es originario del continente asiático, específicamente del noreste de la India (Samson, 1991). De acuerdo a la NMX-FF-058-199, en México se tienen dos grupos de mango: indostano y mulgova. El grupo

indostano se integra por frutos de forma ovalada o redonda, cáscara gruesa de color verde con alguna tonalidad roja, pulpa de color amarilla y ligeramente fibrosa. Los ejemplos más comunes de este grupo son las variedades Tommy Atkins, Keitt, Kent, Oro, Haden e Irwin. El grupo mulgo va se caracteriza por presentar forma alargada, cáscara suave y de color amarillo. Este grupo incluye las variedades Manila, Ataulfo, Diplomático, Panameño, Obo y Criollo. A las variedades del grupo indostano, comúnmente en México se les ha denominado “mango petacón” (SAGARPA, 2005). El volumen total producido de mango en México durante el año 2009 fue de 1 509 271.96 toneladas. Las variedades Manila, Ataulfo, Haden, Tommy Atkins, Kent y Criollo tuvieron mayor producción (SIAP, 2009). De este volumen, se exportaron 227 200 toneladas, el 85% hacia Estados Unidos, 11.2% a Canadá y 2.1% a Japón. Las variedades con mayor volumen de exportación fueron Manila, Ataulfo, Haden y Tommy Atkins. Debido a la estacionalidad de la producción, en 2010 se importaron 3000 toneladas de mango, proveniente principalmente de Ecuador (67.4%) y Tailandia (13.95%), entre otros (Financiera Rural, 2010). De acuerdo al Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2010) el mango se comercializa en México entre los meses de febrero a septiembre. La tendencia de los últimos diez años indica que en septiembre los precios aumentan debido a la baja producción en campo. En la época de mayor producción (abril a junio de 2010) el mango Manila y Ataulfo tuvieron un costo de 8 pesos por kilogramo, mientras que el precio de las variedades Haden, Kent, Tommy Atkins y Oro fluctuó entre 4 y 5 pesos por kilogramo, evidenciando menor precio en el caso del mango indostano.

A partir de esto surge la necesidad de aprovechar la cáscara y pulpa de frutos de mango sobretodo en la época de mayor producción, ya que esta condición ocasiona la disminución del costo de adquisición de la materia prima. En este trabajo se realizó la extracción y caracterización física, química y funcional de seis variedades de mango (Tommy Atkins, Kent, Keitt, Oro, Irwin, Haden) para proponer su aprovechamiento en la industria de alimentos con base en estas características.

# ANTECEDENTES

## 2. ANTECEDENTES

Los carbohidratos son las biomoléculas más abundantes en la naturaleza. La glucosa sintetizada mediante el proceso de la fotosíntesis es la materia prima fundamental para la fabricación de la mayoría de los carbohidratos. Mediante diversas rutas bioquímicas, este azúcar da origen a muchos otros como la sacarosa y la fructosa, o bien a polímeros como la celulosa, el almidón y la pectina (Manrique y Laiolo, 2004).

### 2.1. Carbohidratos

Los carbohidratos constituyen más del 90% de la materia seca de los vegetales, son abundantes y por lo tanto, un componente común en los alimentos. El término carbohidrato sugiere una composición elemental genérica, concretamente  $C_x(H_2O)_y$  y están constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno (Figura 1).

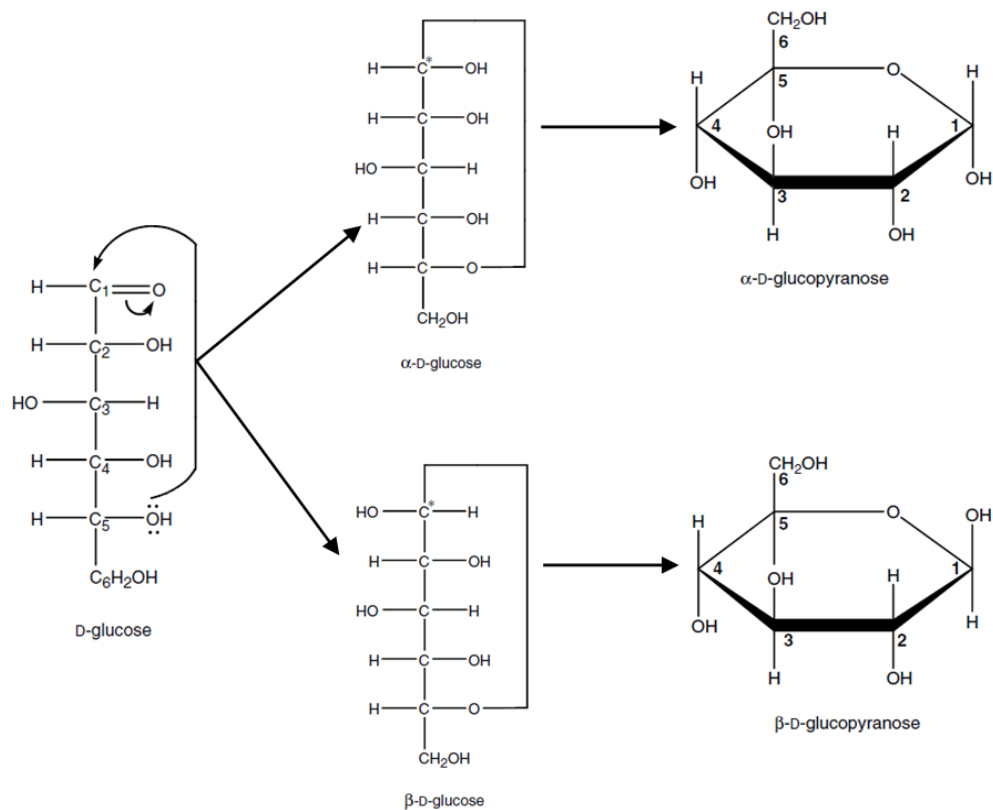


Figura 1. Molécula de glucosa (Izydorczyk, 2005).

Los carbohidratos que no pueden ser degradados a otros compuestos de menor peso molecular por hidrólisis son conocidos como monosacáridos. Este término indica su condición de unidades de monómeros para la construcción de oligosacáridos y polisacáridos (Fennema, 2000).

La celulosa es el principal polisacárido estructural de las paredes celulares vegetales y se puede asociar a otros materiales complejos, como la hemicelulosa, lignina y la pectina (Lehninger, 1979). La pectina es un polisacárido vegetal formado por moléculas de ácido galacturónico unidas por enlaces glucosídicos, donde algunos carboxilos pueden estar esterificados con grupos metilo o en forma de sal.

## 2.2. Estructura química de la pectina

La pectina constituye aproximadamente el 30% del peso seco de la pared celular primaria de las células vegetales. Como se puede observar en la Figura 2, para la pectina cítrica, se ha propuesto la presencia de cuatro dominios principales: homogalacturonano, ramnogalacturonano I, ramnogalacturonano II y xilogalacturonano (Scheller *et al.*, 2007).

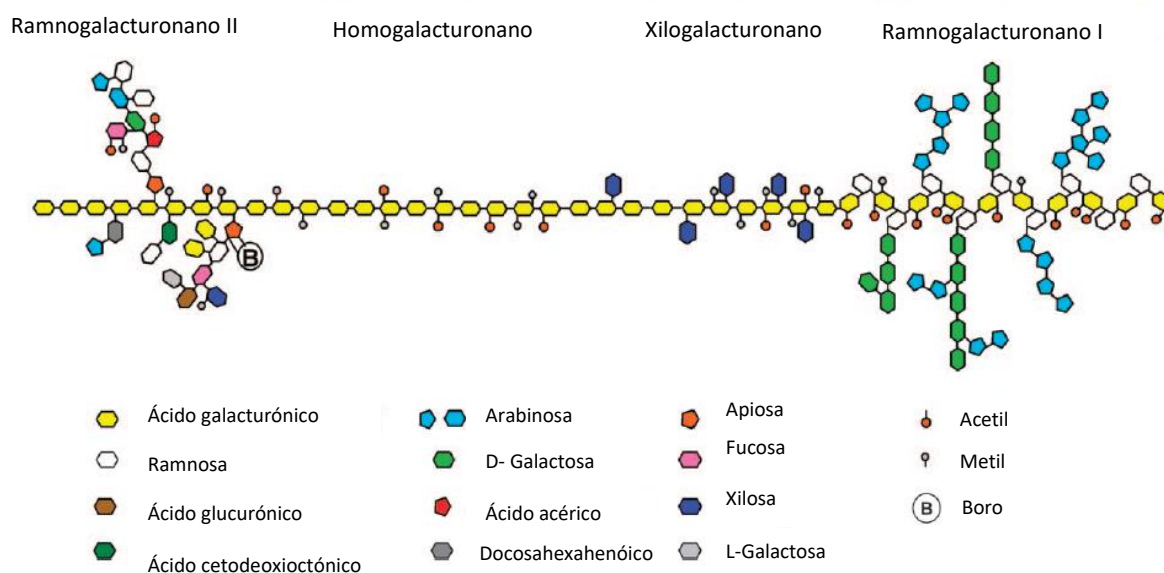


Figura 2. Molécula de pectina cítrica (Scheller *et al.*, 2007).

La pectina está constituida por una cadena lineal principal denominada homogalacturonano, constituida por ácido  $\alpha$ -1,4-galacturónico, en la que aproximadamente el 75% de los grupos carboxilo del ácido galacturónico están esterificados con metanol, la fracción restante puede estar protonada ( $\text{pH}<3$ ) o ionizadas ( $\text{pH}>3$ ) y los grupos hidroxilo pueden o no estar acetilados (Figura 3). Algunos azúcares como la D-galactosa, D-xilosa, D-glucosa, D-manosa, L-fucosa y L-apiosa están unidos de manera directa a la cadena poligalacturónica (Kertesz, 1951). La fracción denominada ramnogalacturonano I está formada por disacáridos de ácido galacturónico unidos mediante enlaces  $\alpha(1-4)$  con restos de L-ramnosa (Rha), intercalados con un enlace  $\alpha(1-2)$ ; es decir,  $((1-2)\text{-}\alpha\text{-L-Rha-(1-4)-}\alpha\text{-D-GalU})_n$ , donde n puede ser mayor a 100, estas unidades se enlazan a cadenas de glicanos, principalmente arabinanos y galactanos (Willats *et al.*, 2005). El ramnogalacturonano II tiene una estructura muy compleja; formada por ácido galacturónico, ramnosa, arabinosa, galactosa y pequeñas cantidades de azúcares poco frecuentes como apiosa y ácido acérico (Ridley *et al.*, 2001). Cabe señalar que la xilosa es el principal azúcar adherido al ácido galacturónico en la fracción denominada xilogalacturonano (Scheller *et al.*, 2007).

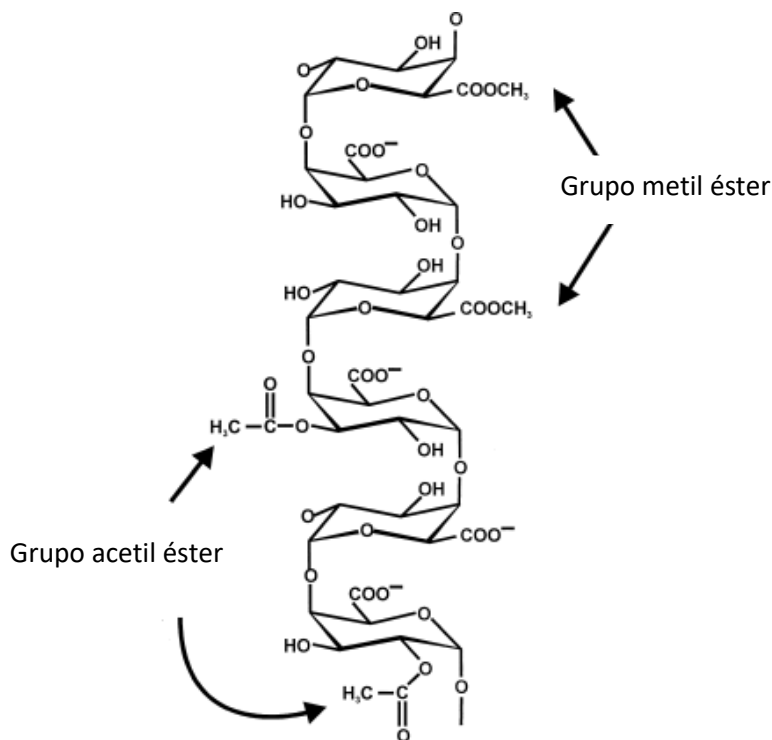


Figura 3. Estructura del homogalacturonano (Ridley *et al.*, 2001).

La pectina se denomina de alto metoxilo cuando posee un grado de esterificación mayor al 50%, pero si el grado de esterificación es menor entonces es llamada pectina de bajo metoxilo (Sharma *et al.*, 1998).

De acuerdo a Voragen *et al.*, (1995), el rendimiento de pectina extraída, el grado de esterificación, acetilación, entre otros, dependen de las condiciones de proceso (pH, tiempo y temperatura), método de extracción (hidrólisis ácida, microondas y pulsos eléctricos) y sobre todo de la materia prima.

### **2.3. Fuentes de extracción de pectina**

La pectina comercial se obtiene a partir de la cáscara de frutos cítricos (naranjas, toronjas y limones) y de bagazos de la pulpa de manzana (May, 1990). También es posible extraer pectina de algas verdes, líquenes, musgos y helechos (Ridley *et al.*, 2001), presentando diferencias en función de la materia prima utilizada y del método de extracción. Existen pocos estudios acerca de la extracción y caracterización de la pectina de mango, por lo cual en este trabajo se utilizó la cáscara y pulpa de mango del grupo indostano como materia prima para la extracción de pectina.

### **2.4. Producción de mango**

La distribución del cultivo de mango se inició por el sudeste asiático y más tarde llegó al archipiélago Malayo; los portugueses lo llevaron primero al Continente Africano y posteriormente a las costas de Brasil, y de ahí se distribuyó al resto de América (Samson, 1991). Pertenece a la familia de las *Anacardiáceas* (al igual que el pistache y el marañón). El género *Manguifera* incluye 54 especies, la mayoría de ellos corresponden a frutos pequeños, por lo general encontrados en la India, su centro de origen. El mango comercial corresponde a las especies *cambodiana*, *cochinchinensis*, *odorata*, *zeylanica* e *indica*. La especie *Manguifera indica* es la única que se cultiva de manera intensiva. Dentro de esta especie se encuentran distintas variedades, tales como Ataulfo, Haden, Keitt, Kent, Manila, Paraiso y Tommy Atkins (Mora *et al.*, 2002).

De acuerdo a la Tabla 1, India es el país que aportó la mayor producción de mango en el 2008. Mientras que en México, durante ese mismo año se produjeron 1 855 359



toneladas de mango, cantidad que lo ubica como el quinto país productor de mango a nivel mundial (FAO, 2008). Según la NOM-129-SCFI-1998 (Información comercial – Etiquetado de productos agrícolas – Mango), en México se distinguen dos grupos de mango: indostano y mulgova.

Tabla 1. Países productores de mango durante el año 2008.

País	Producción (Ton)
India	13 649 400
China	3 976 716
Tailandia	2 374 165
Indonesia	2 013 123
México	1 855 359
Pakistán	1 753 686
Brasil	1 154 649
Filipinas	884 011
Bangladesh	802 750
Nigeria	734 000

FAO, 2008

El volumen producido de mango en México durante el año 2009 fue de 1 509 271.96 toneladas. Las variedades Manila, Ataulfo, Haden, Tommy Atkins, Kent y Criollo fueron las que se produjeron en mayor cantidad, como se aprecia en la Tabla 2 (SIAP, 2009).

Tabla 2. Principales variedades de mango cultivadas en México.

Variedad	Producción (Ton)	Variedad	Producción (Ton)
Manila	387 383.26	Oro	49 072.00
Ataulfo	371 927.93	Keitt	42 563.99
Haden	184 365.80	No especificado	37 334.76
Tommy Atkins	164 355.32	Manillilla	30 531.46
Kent	115 106.17	Paraiso	6 805.22
Criollo	115 106.17	Obo	3 905.12

SIAP, 2009

Con respecto a la balanza comercial, del volumen producido en 2009 (1 509 271.96 toneladas) se exportaron 227 200 toneladas, el 85 % hacia Estados Unidos, 11.2 % a Canadá y 2.1 % a Japón. Las variedades con mayor volumen de exportación fueron Manila, Ataulfo, Haden y Tommy Atkins. En este mismo periodo, México importó 3000 toneladas de mango, proveniente principalmente de Ecuador (67.4%) y Tailandia (13.95%), entre otros (Financiera Rural, 2010). Esto para satisfacer sus necesidades de consumo en épocas de baja producción.

## **2.5. Estado del arte**

En 2007, Ajila *et al.*, reportaron que la cáscara de mango deshidratada contiene de 55 a 110 mg/g de polifenoles en las variedades Raspurri y Badami; la fibra dietaria entre 45 y 78%, encontrando valores más altos para la cáscara de frutos maduros. También indican que la cáscara seca contiene entre 188 a 392 µg/g de vitamina C, mientras que la vitamina E está entre 205 y 509 µg/g.

De acuerdo a Sudhakar y Maini (2000), en la cáscara de mango Totapurri se obtuvo el mejor rendimiento de pectina cuando se realizó hidrólisis con HCl (proporción 1:2 de cáscara:etanol) a una concentración de 0.05 N. La cáscara de mango deshidratada fue almacenada durante seis meses en condiciones ambientales (entre 14.5°C y 40°C) causando un mínimo efecto sobre la recuperación de pectina y se obtuvo un rendimiento promedio de 20.8% en peso seco.

Utilizando cáscara de mango liofilizada de las variedades Tommy Atkins, Manila, Ngowe, Kent, Kaew, Bernardini *et al.*, (2005) obtuvieron un rendimiento entre 12.2% y 21.1% y grado de esterificación entre 56.3% y 65.6%. Por otra parte, Kratchanova *et al.*, (1991) encontraron que la cáscara de mango Ceni posee 24.5% de sustancias pécticas, mientras que en mango Springfield determinaron un 22.3% de pectinas, en ambos frutos se obtuvo un grado de esterificación del 80%. También indican que la cantidad de pectina en la pulpa fue de 5.8%, para la cáscara y la pulpa utilizaron ácido clorhídrico para realizar la hidrólisis ácida. Iaghlér *et al.*, (2002) estudiaron la presencia de ácido galacturónico (principalmente de ramnogalacturonano I) en la pectina de la pulpa de mango.

Rehman *et al.*, (2004) obtuvieron un rendimiento del 21% para la extracción de pectina utilizando cáscara de mango finamente molida y desengrasada (no especifican en que variedad) utilizaron una solución de ácido sulfúrico a pH de 2.5, 80 °C de temperatura y tiempo de extracción de 2 horas. Bajo estas condiciones, el contenido de ácido galacturónico fue de 72.8 %, mientras que se obtuvo un grado de metoxilación de 9.77 %.

Sirisakulwat *et al.*, (2010) reportan que la cáscara de mango puede permanecer hasta 5 horas posterior a su separación del fruto sin que ocurra degradación de la molécula de pectina. Posterior a este tiempo debe hacerse el escalde y secado, ya que puede iniciar el crecimiento microbiano y el efecto de las enzimas pectinolíticas, las cuales pueden hidrolizar este polisacárido (Larraurri *et al.*, 1996).

La mayor parte de la investigación sobre pectinas de mango se ha realizado en países asiáticos extrayéndolas a partir de la cáscara y se les ha realizado una caracterización básica, enfocada principalmente hacia su propiedad gelificante. La mayoría de los estudios mencionados corresponden a información de hace más de cinco años. Existe muy poca información acerca de pectinas de pulpa de mango, ya que al tratarse de esta fracción la mayoría de los trabajos se han realizado bajo un enfoque poscosecha. Sin embargo, al ser un tejido vegetal de las dicotiledóneas, es posible realizar la extracción y caracterización de pectinas de cáscara y pulpa de mango. Esto podría ser interesante considerando que en épocas de alta producción los frutos de mango como materia prima para extraer pectinas serían de bajo costo, brindando así una nueva fuente de obtención de pectinas para proponer su aplicación basada en sus características físicas y químicas.

Como se puede observar, existe un área de oportunidad para realizar una investigación encaminada a realizar la extracción y caracterización de la pectina de mango de las variedades indostanas cultivadas en México. Se espera que este trabajo contribuya a dar valor agregado al cultivo al aprovechar los subproductos en la obtención de aditivos de interés en la industria de alimentos.

# JUSTIFICACION E HIPOTESIS

### 3. JUSTIFICACION

Los frutos de las variedades del grupo indostano, como Tommy Atkins, Keitt, Kent, Oro, Haden e Irwin, tienen cáscara gruesa y consistencia firme debido a la presencia del alto contenido de fibra, por lo que la industria de los alimentos se ha interesado poco en ellos, ya que sus procesos están estandarizados para frutos de menor tamaño y con pulpa suave. Esto ha ocasionado que los frutos de estas variedades no estén siendo aprovechados de manera óptima, causando pérdidas económicas importantes a los productores y generando altos volúmenes de desechos. Por lo tanto, es necesario desarrollar tecnologías para el aprovechamiento del mango Indostano y de sus residuos potenciales, entre ellos la cáscara y la pulpa con el fin de dar valor agregado a la sustentabilidad del cultivo.

Actualmente, el aprovechamiento del mango Indostano se basa principalmente en la pulpa, su porción comestible, de la cual se ha descrito que tiene cantidades importantes de azúcares, carotenoides y fibra dietética. Algunos autores mencionan que de la cáscara se podría obtener fibra, polifenoles y pectinas. Bajo este contexto, es importante desarrollar investigaciones sobre el mango Indostano orientadas a determinar la presencia de aditivos potenciales como la pectina, identificar las diferencias entre sus variedades y determinar si las propiedades de estas pectinas pueden ser de interés en la industria de alimentos.

### 4. HIPOTESIS

Para el presente proyecto se plantearon dos hipótesis, las cuales se mencionan continuación:

H1: Las diferentes fracciones del mango indostano pueden servir como fuente potencial de pectinas de alto metoxilo.

H2: Las propiedades funcionales de la pectina del mango indostano dependerán de la variedad y permitirán su aplicación en alimentos.

# OBJETIVOS

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. General

Realizar la extracción de pectina de mango (*Manguifera indica* L.) de variedades del grupo indostano y caracterizarlas física, química y funcionalmente para proponer su aprovechamiento en alimentos con base en sus propiedades.

### 5.2. Específicos

- a) Realizar la caracterización física y química de la cáscara, pulpa y semilla de los frutos del mango indostano.
  
- b) Desarrollar un proceso para la extracción de la pectina de los frutos de mango.
  
- c) Determinar las características física, química y funcional de la pectina para proponer su aplicación en alimentos basada en sus características

MATERIALES Y

METODOS



## 6. MATERIALES Y METODOS

El desarrollo del proyecto se desarrolló bajo una metodología que permitió analizar las características de la materia prima y su efecto sobre la pectina obtenida, la estrategia general se observa en la Figura 4, y puede desglosarse en cuatro etapas experimentales.

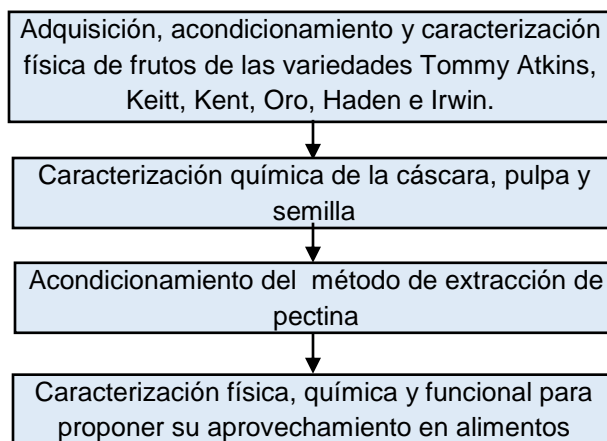


Figura 4. Estrategia experimental del proyecto.

### 6.1 Etapas experimentales.

En la primera etapa (Figura 5) se realizó la caracterización física y el acondicionamiento de la materia prima. Para ello, los frutos fueron separados en sus fracciones (cáscara, pulpa y semilla) y se separaron en dos lotes. El primer lote se usó para el análisis químico proximal y se acondicionó mediante secado, molido, tamizado y envasado en frascos ámbar hasta ser utilizado en el análisis químico. El segundo lote se usó en fresco para la extracción de pectina.

En la segunda etapa (Figura 6) se realizó el análisis químico proximal de la cáscara, pulpa y semilla de los frutos, con la finalidad de identificar los componentes que se encuentran en mayor cantidad en las fracciones de los frutos.

El método para la extracción de pectina se acondicionó en la etapa tres, para ello se consideraron las variables experimentales propuestas por la literatura y se ajustaron de acuerdo a las características de la materia prima con la finalidad de obtener el mayor rendimiento de pectina. El diagrama general se ilustra en la Figura 7.

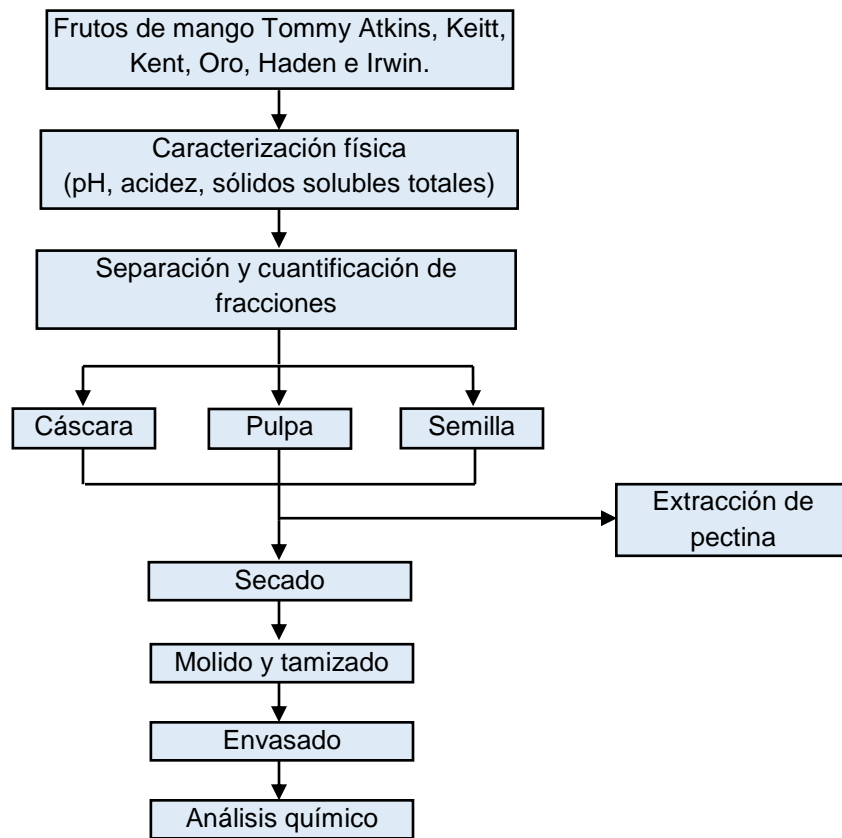


Figura 5. Caracterización y conservación de la materia prima.

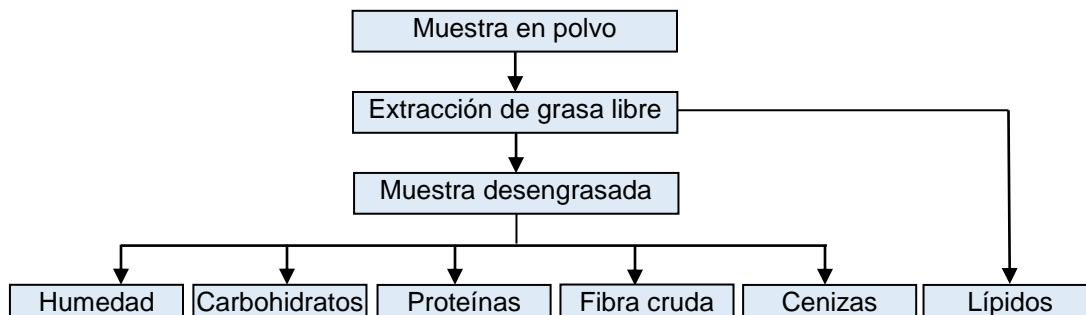


Figura 6. Análisis químico proximal de las fracciones.

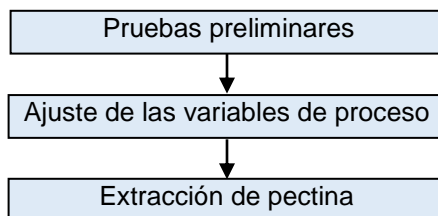


Figura 7. Acondicionamiento del método de extracción de pectina.

Finalmente, en la cuarta etapa (Figura 8) se realizó el análisis físico, químico y funcional de la pectina para identificar sus características y posibles aplicaciones en alimentos.

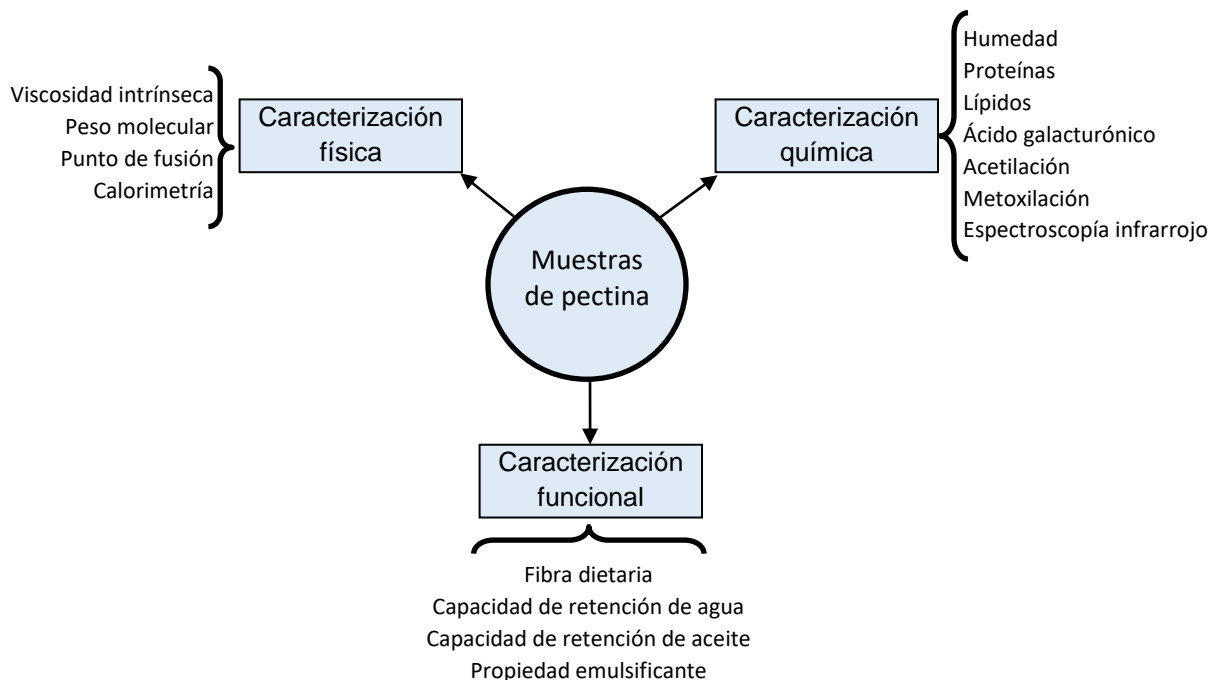


Figura 8. Caracterización física, química y funcional de la pectina.

## 6.2. Caracterización fisicoquímica de la materia prima.

La materia prima fue adquirida en la Central de Abasto de la Ciudad de México. Se seleccionaron los frutos de las variedades Tommy Atkins, Keitt, Kent, Oro, Haden e Irwin, considerando uniformidad en color forma y tamaño.

### 6.2.1. Cuantificación de las fracciones de los frutos.

Los frutos fueron lavados y separados en sus fracciones (cáscara, pulpa y semilla) de forma manual con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable. Se cuantificó la masa de los frutos completos y de cada una de las fracciones, reportándose el promedio aritmético y la desviación estándar. La pulpa fue homogeneizada perfectamente y se utilizó para las determinaciones fisicoquímicas que se mencionan a continuación.

### **6.2.2. Sólidos solubles totales**

Los grados Brix son el porcentaje de sólidos solubles totales (SST) en una muestra y es un indicador de la cantidad de azúcares simples que se encuentran en la solución. El método se basa en la refracción de la luz polarizada, es decir en el cambio de dirección que sufren los rayos luminosos en el límite de separación de dos medios en los cuales es distinta la velocidad de propagación. Para esta determinación se colocó una gota de muestra directamente en un refractómetro de Abbe, realizándose la determinación a temperatura ambiente (NMX-F-103-1982).

### **6.2.3. Acidez**

La acidez titulable se expresó como porcentaje de ácido cítrico, debido a que este ácido es el que se encuentra en mayor proporción en los frutos de mango. Se determinó por titulación ácido base empleando hidróxido de sodio 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador (AOAC 22.058, 1995).

### **6.2.4. pH**

La determinación de pH es la medida de la actividad del ión H<sup>+</sup> y se mide por la determinación de una diferencia de potencial eléctrico. Para este caso, se preparó una solución 1:1 de pulpa de mango perfectamente homogeneizada en agua destilada. Se introdujo el electrodo del potenciómetro en la solución, mientras la muestra permaneció en agitación constante (AOAC 10.035, 1995).

### **6.2.5. Índice de madurez**

El índice de madurez (IM) se calculó de acuerdo al procedimiento establecido por Ornelas et al., (2008), que establece la relación que existe entre los sólidos solubles totales (SST) y la acidez (A), como se muestra en la Ecuación 1.

$$IM = \frac{SST}{A} \quad (1)$$

## **6.3. Análisis químico proximal de la materia prima**

La cáscara, pulpa y semilla fueron deshidratadas en una estufa a 50 °C, durante 48 h hasta llegar a peso constante. Posteriormente se molieron en un molino de aspas y

se tamizaron en una malla con una apertura de 40 mesh. Las muestras fueron conservadas en frascos ámbar para ser analizadas posteriormente.

### **6.3.1. Humedad**

La humedad es considerada como la pérdida de agua que sufre la muestra al ser calentada a 100°C, hasta que dos pesadas sucesivas no difieran en más de 3 mg. En este caso se usó una estufa a 100 °C en la que la muestra fue deshidratada durante 5 h. La humedad se determinó mediante la cuantificación de pérdida de masa por desecación (AOAC 14.003,1995).

### **6.3.2. Carbohidratos totales**

Todos los azúcares, incluyendo polisacáridos, se deshidratan con ácido sulfúrico concentrado formando furfurales o algunos de sus derivados, los que a su vez se condensan con fenoles presentes en la mezcla de reacción para dar compuestos de coloración naranja amarillento, cuya intensidad se lee en un espectrofotómetro a 560 nm (Dubois *et al.*, 1956). Siendo este resultado la cuantificación de los carbohidratos totales.

### **6.3.3. Proteína**

El procedimiento de Kjeldahl determina la materia nitrogenada total, que incluye tanto las no proteínas como las proteínas verdaderas. El método se basa en la determinación de la cantidad de nitrógeno orgánico contenido en los productos y considera dos pasos consecutivos: la descomposición de la materia orgánica bajo calentamiento en presencia de ácido sulfúrico concentrado y el registro de la cantidad de amoniaco obtenido de la muestra. Para convertir la cantidad de nitrógeno a proteína se utilizó el factor de 6.25, el cual ha sido utilizado para frutos de esta naturaleza (AOAC 42.014, 1995).

### **6.3.4. Extracto etéreo**

Una cantidad previamente homogeneizada, seca y pesada del alimento se sometió a la extracción total de la materia grasa libre por el método Soxhlet (extracción de lípidos contenidos en un sólido, a través de un disolvente afín). Para esta

determinación se usó éter de petróleo como disolvente y por diferencias de peso se cuantificó la cantidad de extracto etéreo obtenido (NMX-F-089-S-1978).

### **6.3.5. Fibra cruda**

El tratamiento de muestras desengrasadas con ácidos nítrico, tricloroacético y acético, solubiliza completamente almidón, proteína y lignina y la mayor parte de la hemicelulosa, pero no afecta la celulosa, la cual se puede cuantificar después de este tratamiento, separando por filtración. De esta manera se pudo cuantificar la fibra cruda, la cual es un indicativo de material no digerible, compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina residual (AOAC 7.068, 1995).

### **6.3.6. Cenizas**

El material mineral se cuantificó mediante la incineración de la muestra hasta la obtención de un residuo inorgánico correspondiente a la fracción de cenizas. Por lo anterior, se realizó una precalcinación de la muestra y posteriormente se sometió a calcinación en una mufla a 550°C durante 5 horas. Se cuantificó el peso de la ceniza obtenida después de la incineración (AOAC 14.063, 1995).

## **6.4 Estandarización del método de extracción de pectina**

Para la extracción de pectina se utilizó un diseño factorial de tipo 2<sup>3</sup>, en donde se consideraron tres variables experimentales y dos niveles, de acuerdo a los datos de la Tabla 3. Para esta etapa se utilizó como materia prima la cáscara, pulpa y semilla de mango Tommy Atkins, ya que es la variedad indostana de mayor producción en México y a nivel mundial.

Tabla 3. Variables experimentales para la extracción de pectina.

Variable experimental	Nivel bajo	Nivel alto
pH	3	4
Tiempo (minutos)	30	60
Temperatura (°C)	60	90

## 6.5. Extracción de pectina

Se utilizó el método de Kertesz (1951) con algunas modificaciones, de acuerdo a la Figura 9, el proceso se divide en tres etapas: separación de sólidos insolubles al alcohol, extracción de pectina por hidrólisis ácida y aislamiento de la pectina por precipitación.

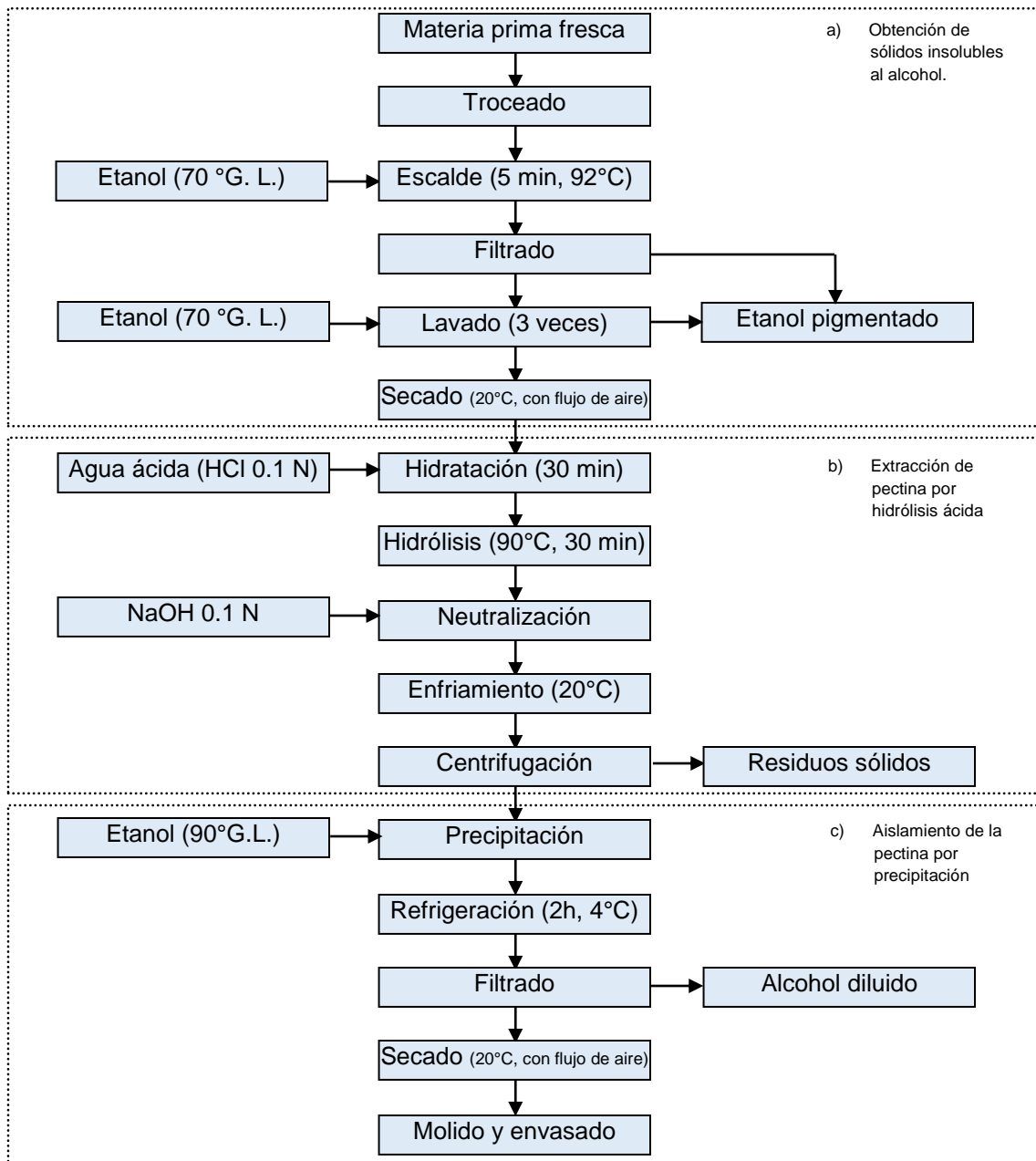


Figura 9. Diagrama de bloques para la extracción de pectina.

La primera operación consiste en realizar un escalde en presencia de alcohol, posteriormente se eliminó el excedente de líquido y los sólidos se dejaron secar a temperatura ambiente bajo corriente de aire. Los sólidos obtenidos de esta manera se denominaron sólidos insolubles al alcohol (SIA). La siguiente etapa consiste en la extracción de pectina, para ellos los SIA fueron dispersados en agua acidificada con HCl (0.1 N) para regular el pH, la mezcla se llevó a ebullición con agitación constante.

Concluido el proceso de hidrólisis se enfrió la mezcla en un baño de agua helada hasta llegar a temperatura ambiente. Posteriormente se eliminaron los residuos de material vegetal mediante centrifugación, de esta manera se obtuvo un sobrenadante rico en sustancias pécticas. El extracto obtenido en la etapa anterior fue combinado con etanol absoluto a  $-20^{\circ}\text{C}$  en una relación 1:2 (hidrolizado:etanol) para separar la pectina, misma que fue precipitada en forma de gel. La mezcla se mantuvo en refrigeración durante 2 h para mejorar la consistencia del gel. El gel se separó por filtración usando un colador doméstico y se lavó en dos ocasiones con etanol absoluto, posteriormente se llevó a un secado a temperatura ambiente bajo corriente de aire hasta llegar a peso constante. La pectina obtenida de esta manera se molió, tamizó y se envasó en frascos ámbar para su caracterización posterior.

## **6.6. Caracterización química de la pectina**

En la caracterización química se analizaron algunos parámetros químicos proximales de mayor importancia, la pureza mediante el contenido de ácido galacturónico, se determinó el contenido de acetilos y el grado de metoxilación, finalmente se identificaron algunos grupos funcionales en la molécula de pectina mediante espectroscopía infrarrojo con transformadas de Fourier (FT-IR).

### **6.6.1. Humedad**

La humedad de la pectina de las diferentes fracciones de mango se realizó mediante pérdida de masa por desecación, tal como se describe en la sección 6.3.1.



## **6.6.2. Proteínas**

Las proteínas en las muestras de pectina se determinaron de manera indirecta mediante la cuantificación del nitrógeno total, como se describe previamente en la sección 6.3.3.

## **6.6.3. Extracto etéreo**

El extracto etéreo se realizó por recirculación de éter de petróleo en un sistema Soxhlet, el proceso ha sido descrito en la sección 6.3.4.

## **6.6.4. Ácido galacturónico**

Es un método colorimétrico que se basa en la reacción entre el reactivo m-hidroxidifenil y las unidades de ácido galacturónico de la pectina para formar un complejo colorido que se lee a 520 nm (Blumenkrantz y Asboe-Hansen, 1973).

## **6.6.5. Acetilación**

Método colorimétrico que se basa en la reacción entre la hidroxilamina y los grupos acetilo de la pectina, para producir ácido hidroxámico que reacciona con el hierro formando un complejo soluble rojo, que se lee a 430 nm (McComb y McCready, 1957).

## **6.6.6. Metoxilación**

Cuantificación volumétrica en el que los grupos carboxilo esterificados con metanol de la pectina se valoran por titulación con NaOH y una posterior titulación con HCl, respectivamente (Schultz, 1965).

## **6.7. Caracterización física**

La caracterización física se realizó mediante la viscosidad intrínseca, el peso molecular y algunos parámetros térmicos, como se explica a continuación.

### **6.7.1. Viscosidad intrínseca**

La viscosidad es la medida de la resistencia a la deformación que presenta un fluido, depende de la temperatura, la molécula a analizar y la materia prima de donde fue

extraída, pero principalmente está afectado por las características del soluto en la solución. La viscosidad intrínseca es una medida de los efectos del peso molecular del polímero o del grado de polimerización (Mott, 2006). La viscosidad intrínseca de las muestras de pectina de mango fue determinada mediante la metodología propuesta por Kar y Arslan (1999) con algunas modificaciones, como se describe a continuación.

a). *Preparación de soluciones de pectina.* Se prepararon soluciones de pectina usando buffer de fosfato de sodio a 0.1 M (pH 7), este buffer se preparó con agua destilada. Las soluciones se prepararon a concentraciones de 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 y 0.25 % de pectina en el solvente (buffer). Se determinó la densidad de las soluciones y de la solución buffer utilizando un analizador de tensión superficial, acoplado un sensor de medición de densidad.

b). *Tiempo de desplazamiento.* Se colocaron 10 mL de cada solución y también del disolvente en un viscosímetro capilar de Ubbelohde (Cannon Instrument Company, Tamaño 1C, Serie: F858), se tomó el tiempo que tardó en desplazarse el fluido al interior del capilar estandarizando el proceso a una temperatura de 20 °C.

c). *Viscosidad relativa.* Es la relación de la viscosidad de la solución del polímero con respecto al disolvente puro a la misma temperatura, la Ecuación 2 se utilizó para realizar este cálculo, donde el subíndice 1 hace referencia a parámetros para el buffer y el 2 a la solución de pectina en estudio.

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_s} = \frac{t_1 \rho_1}{t_2 \rho_2} \quad (2)$$

d). *Viscosidad específica.* Es la viscosidad de la solución de pectina con respecto a la viscosidad del solvente. Tal como lo muestra la Ecuación 3, la viscosidad específica es la viscosidad relativa de la solución de pectina menos la unidad.

$$\eta_{sp} = \frac{\eta - \eta_s}{\eta_s} = \frac{\eta}{\eta_s} - 1 = \eta_r - 1 \quad (3)$$

e). *Viscosidad reducida.* Hace referencia a la viscosidad específica con respecto a la concentración de la solución de pectina (Ecuación 4).

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{C} \quad (4)$$

f). *Viscosidad intrínseca*. Es la relación de la viscosidad reducida extrapolada a la concentración cero. Se asume que la viscosidad reducida debe ser independiente de la concentración y la Ecuación 5 indica que esto se logra en el límite cuando la concentración sea cero.

$$\eta_i = \lim_{C \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{C} \quad (5)$$

### 6.7.2. Peso molecular

El peso molecular se despejó del modelo de Mark-Howink-Sakurada, quedando como se muestra en la Ecuación 6 y utilizando los valores de la viscosidad intrínseca previamente calculada.

$$M_w = \left[ \frac{\eta_i}{K} \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (6)$$

Donde las constantes son  $K = 2.34 \times 10^{-5}$  y  $\alpha = 0.8224$ , de acuerdo a lo reportado por Kar y Arslan (1999) para la pectina cítrica y su validez en los cálculos para otras pectinas, como lo demuestra Jiang *et al.*, (2012) y Linares-García (2015).

### 6.7.3. Punto de fusión

Se utilizó un equipo medidor de punto de fusión Melting Point Apparatus para la determinación del punto de fusión, para lo cual las muestras en polvo fueron introducidas dentro de tubos capilares y a continuación los capilares se introdujeron al equipo, el cual inició un proceso de calentamiento con elevación constante de temperatura. Se cuantificó la temperatura a la cual se realizó la fusión del biopolímero.

## 6.8. Comportamiento al flujo

Se prepararon dispersiones de muestras de pectina cítrica, pectina de cáscara y de pulpa de mango de las seis variedades en agua destilada (0.5, 1.0, 1.5 % p/v) a un pH neutro. Se determinó el comportamiento al flujo a 25 °C en un reómetro de bajo esfuerzo modelo LS100 (Paar-Physica, Alemania), usando una geometría de cilindros concéntricos (DG1 48 mm de diámetro y 36 mm de longitud). Los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele (Ecuación 7).

$$\eta = K\dot{\gamma}^n \quad (7)$$

Donde  $\eta$  es la viscosidad aparente (Pa.s), K el coeficiente de consistencia (Pa.s<sup>n</sup>),  $\dot{\gamma}$  velocidad de corte (s<sup>-1</sup>) y n es el índice de comportamiento (adimensional).

## 6.9. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Las propiedades térmicas se obtuvieron mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) en un calorímetro TA Instruments (DSC 2010, USA) para lo cual se colocaron 8 mg de pectina en polvo en cápsulas de aluminio herméticamente cerradas. Se utilizó una rampa de 10 °C/min hasta llegar a una temperatura máxima de 370 °C de acuerdo a lo recomendado por Einhorn-Stoll y Kunzer (2009). El sistema se operó en un ambiente estable de nitrógeno a presión atmosférica. Con fines de comparación también se analizaron muestras de pectina cítrica (Sigma).

## 6.10. Espectroscopía infrarrojo con transformadas de Fourier (FT-IR)

Se utilizó un espectrómetro Bruker, modelo Tensor 27 (Alemania) y un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) Platinum (Alemania) con reflectancia simple y cristal de diamante. Los espectros obtenidos fueron el resultado de 16 escaneos utilizando una resolución de 4 cm<sup>-1</sup> en el intervalo del infrarrojo medio. Se usó el software Opus ver 7.2 para el análisis de los espectrogramas.

## 6.11. Caracterización funcional

La caracterización funcional se realizó considerando los parámetros que se indican a continuación.

### 6.11.1. Fibra dietaria

Se utilizó el método de Mañas y Saura-Calixto (1994), cuyo diagrama general se muestra en la Figura 10.

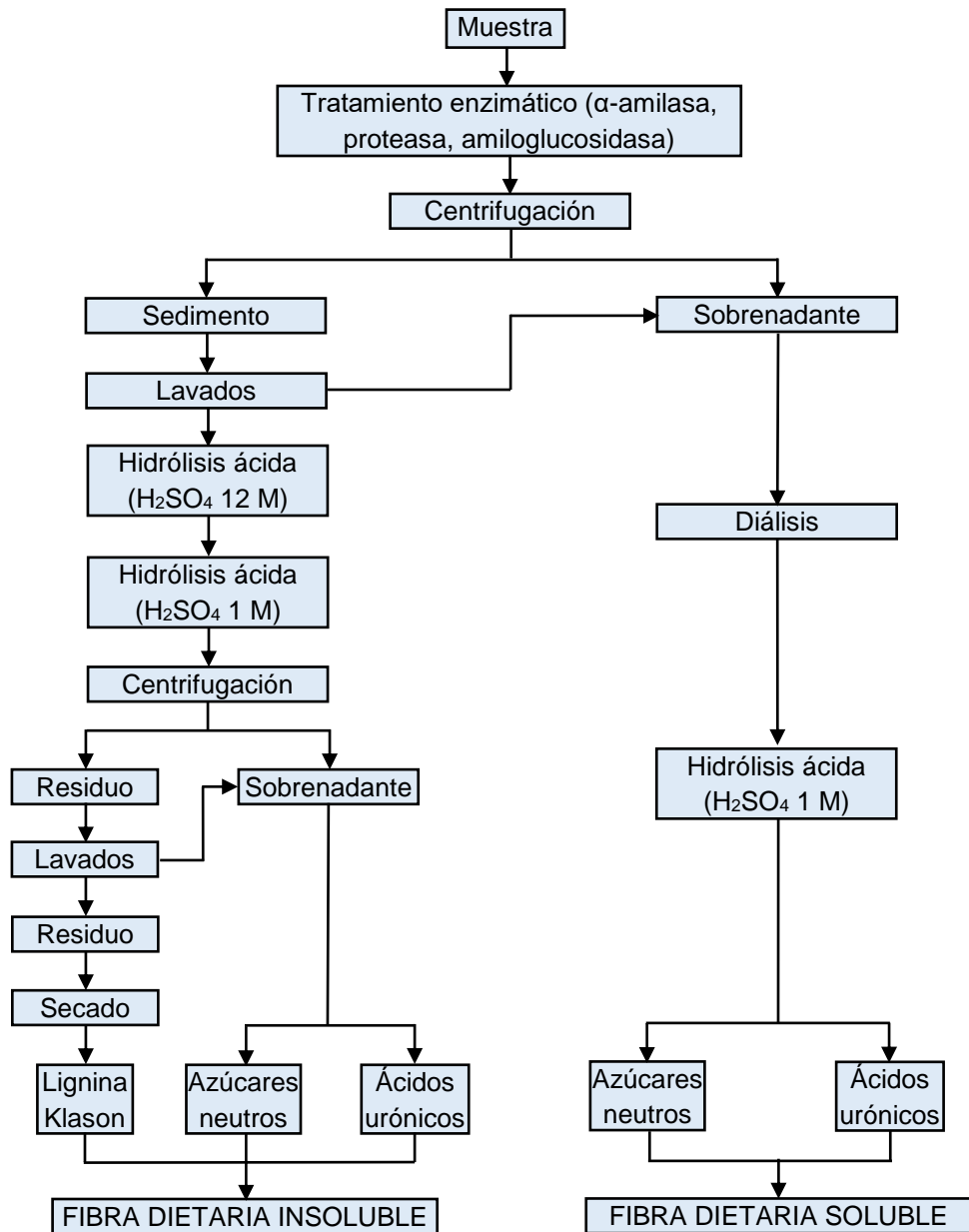


Figura 10. Diagrama de bloques para la cuantificación de la fibra dietaria.

La metodología con los ajustes pertinentes se describe de manera general a continuación.

- a) Pesar por duplicado 0.5 g de muestra e introducirla en un vaso de precipitados de 400 mL. Adicionar 25 mL de buffer fosfatos (pH=6.0).
- b) Adicionar 50  $\mu$ L de  $\alpha$ -amilasa termoestable (Termamyl®).
- c) Cubrir los vasos con papel aluminio y colocarlo en un baño de agua hirviendo. Agitar suavemente cada 5 min. Cuando el contenido del vaso se haya estabilizado en 95 °C dejar bajo esas condiciones durante los próximos 15 min, agitando vigorosamente cada 5 min (en total, la muestra permanecerá aproximadamente 30 min desde el inicio hasta el final de esta etapa).
- d) Enfriar a temperatura ambiente. Ajustar el pH a 7.5 adicionando 5 mL de solución de hidróxido de sodio 0.275 N.
- e) Adicionar 2.5 mg de proteasa en polvo.
- f) Cubrir los vasos con papel aluminio e introducirlos en un baño de agua a 60 °C con agitación constante. Mantener en incubación durante 30 min una vez que la temperatura interna se encuentre en 55 °C.
- g) Enfriar. Añadir 5 mL de solución de ácido clorhídrico 0.325 M. El pH debe quedar entre 4.0 y 4.6.
- h) Adicionar 0.15 mL de solución de amiloglucosidasa y repetir el inciso f). Cuando la muestra tiene poca cantidad de almidón esta etapa puede ser eliminada.
- i) Centrifugar a 1000 G (aproximadamente 3000 rpm) durante 30 min o hasta que exista una separación de fases. Lavar con agua destilada hasta completar un volumen definido, por ejemplo 50 mL. El sobrenadante de la centrifugación y el agua de lavado (ambos conforman la fibra dietaria soluble de la muestra, FDS) se colectan para realizar una diálisis en la que se eliminarán sales. Posteriormente a este dializado se le realiza una hidrólisis ácida ( $H_2SO_4$  1M) y se utiliza para la determinación de azúcares neutros (AN<sub>s</sub>) (Scott, 1979) y ácidos urónicos (AU<sub>s</sub>) usando los métodos de Scott (1979) y de Southgate (1976), respectivamente
- j) El sólido sedimentado se somete a una hidrólisis ácida con 3 mL de  $H_2SO_4$  12 M. La muestra se calienta a 30 °C durante 1 h. Adicionar 33 mL de agua para bajar la molaridad a 1M, calentar a 100 °C durante 90 min o a 90 °C durante 2 h. Se parar el

sobrenadante por centrifugación, lavar el residuo con una cantidad tal que el sobrenadante más el agua de lavado genere un volumen definido de control (por ejemplo 50 mL), dicho volumen se recupera para cuantificar azúcares neutros (AN<sub>i</sub>) y ácidos urónicos (AU<sub>i</sub>) de la fibra dietaria insoluble (FDI). El residuo resultante de la centrifugación se seca hasta peso constante para su cuantificación, a este resultado se le denomina lignina Klason (LK).

k) Realizar de manera paralela una determinación para el blanco experimental. Los cálculos se realizan como se indican en las Ecuaciones 8 y 9, donde FDS = Fibra dietaria soluble, FDI = Fibra dietaria insoluble, ANs = Azúcares neutros solubles, AUs = ácidos urónicos, LK = Lignina Klason.

$$FDS = AN_s + AU_s \quad (8)$$

$$FDI = LK + AN_i + AU_i \quad (9)$$

Finalmente, de acuerdo a la Ecuación 10, la fibra dietaria total (FDT) se calcula por:

$$FDT = FDS + FDI \quad (10)$$

### 6.11.2. Capacidad de retención de agua

De acuerdo a Sosulki (1962), la capacidad de retención de agua de una muestra es evaluada por el incremento en masa de la muestra después de ser hidratada. Para ello, se pesa 1 g de muestra en un tubo de centrífuga previamente puesto a peso constante. Se añaden 10 mL de agua y se agita en vortex por 1 min. Dejar reposar 30 min y después centrifugar a 1600 G x 25 min. El agua libre es desechada y el tubo se mantiene en posición inclinada en una estufa a 50 °C durante 25 min, finalmente se pesa. Como se observa en la Ecuación 11, el aumento de peso se relaciona con el contenido de la muestra para obtener la relación porcentual que determina su capacidad de absorción de agua.

$$CRA = (P_2 - P_1) * 100 \quad (11)$$

Donde CRA = Capacidad de retención de agua, P<sub>2</sub> y P<sub>1</sub> son los pesos final e inicial, respectivamente. Los resultados también se pueden expresar como mL de agua / g de muestra.

### 6.11.3. Capacidad de retención de aceite

La propiedad de una muestra de absorber aceite está relacionada con su capacidad para fijar lípidos. El procedimiento de Lin *et al.*, (1974), indica que se debe pesar 1 g de muestra y agregar 6 mL de aceite en un tubo para centrifuga previamente puesto a peso constante. El contenido se mezcla durante 1 min en vortex y se deja reposar durante 30 min a temperatura ambiente. Centrifugar posteriormente a 1610 G por 25 min. El exceso de aceite es eliminado por decantación y el tubo se mantiene inclinado durante 30 min en un ángulo de 15 a 20° a 25 °C para eliminar el aceite residual. De acuerdo a la Ecuación 12, el peso del aceite retenido es calculado por diferencia.

$$CRO = (P_3 - P_1) * 100 \quad (12)$$

Donde CRO = Capacidad de retención de aceite,  $P_3$  y  $P_1$  son los pesos final e inicial, respectivamente. Los resultados también pueden expresarse como mL de aceite absorbido / g de muestra.

### 6.11.4. Propiedad emulsificante

Se evaluó en primer lugar la capacidad emulsificante mediante el método de Leurox *et al.*, (2003), el cual se basa en los siguientes pasos: Preparar una solución de pectina al 0.5% (p/p) en agua. En tubos graduados, transparentes y de polipropileno de 15 mL colocar 3 mL de solución péctica y adicionarle 3 mL de aceite vegetal. Homogeneizar en un vortex a la máxima velocidad durante 3 minutos a temperatura ambiente. Centrifugar durante 5 min a 25 °C usando 3000 rpm. Después de la centrifugación medir el volumen total (VT) de la solución y el volumen de la capa emulsificada (VCE). Calcular la capacidad emulsificante (CE) mediante la Ecuación 13.

$$CE = \frac{VCE}{VT} \times 100 \quad (13)$$

Donde CE = Capacidad emulsificante, VCE = Volumen de la capa emulsificada y VT = Volumen total.



Posteriormente se determinó la estabilidad emulsificante mediante el método de Dalev y Simeonova (1995), que consiste en lo siguiente: Preparar tubos con solución emulsificada como describió previamente y medir el volumen total de la capa emulsificada ( $VCE_1$ ). Colocar los tubos en baño maría a  $80^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos. Enfriar durante 15 minutos en baño de hielo y centrifugar bajo las mismas condiciones que se usaron en la sección anterior. Medir el volumen de la capa emulsificada posterior al tratamiento térmico ( $VCE_2$ ). Calcular la estabilidad de la emulsión (EE) mediante la Ecuación 14.

$$EE = \frac{VCE_2}{VCE_1} \times 100 \quad (14)$$

Donde EE = Estabilidad emulsificante,  $VCE_1$  = Volumen de la capa emulsificada inicialmente,  $VCE_2$  = Volumen de la capa emulsificada después de la prueba de estabilidad.

## **6.12. Selección de una variedad con base en su propiedad emulsificante**

Los resultados de la sección anterior, basados en la capacidad y estabilidad emulsificante permitieron identificar a una variedad con las mejores propiedades.

### **6.12.1. Comportamiento al flujo a distintas concentraciones**

Para la variedad seleccionada (Tommy Atkins) considerando las mejores características funcionales, se le estudió el comportamiento al flujo de acuerdo a lo que se menciona a continuación. Se prepararon dispersiones de muestras de pectina (MPP y CCP) en agua destilada (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 % p/v) a un pH neutro. Se determinó el comportamiento al flujo a  $25^{\circ}\text{C}$  en un reómetro de bajo esfuerzo modelo LS100 (Paar-Physica, Alemania), usando una geometría de cilindros concéntricos (DG1 48 mm de diámetro y 36 mm de longitud). Los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele (Ecuación 7). A partir de las curvas de ascenso y descenso del comportamiento al flujo se determinó el índice de tixotropía ( $\alpha$ ) usando la Ecuación 15.

$$\alpha = [(A_1 - A_2) / A_1] (100) \quad (15)$$

Donde  $A_1$  y  $A_2$  indican el área bajo la curva de ascenso y descenso, respectivamente.

### 6.12.2. Optimización en la obtención de las emulsiones

Se evaluó la capacidad emulsificante por el método de Yang *et al* (2018) con algunas modificaciones. Se prepararon dispersiones al 0.5 % p/v de MPP, CCP y GA, a diferentes pH (3, 5 y 7) y se les determinó la tensión superficial (Analite Surface Tensionmeter Model 2141, McVan Instruments, Australia). Se formularon emulsiones para cada uno de los polisacáridos usando una relación 1:1 (dispersión:aceite), utilizando un equipo de agitación Ultra-Turrax a tres diferentes velocidades (5000, 10000 y 15000 rpm) durante 5 min. Se midió el volumen total (VT) del sistema y el volumen de la capa emulsificada (VCE), para calcular la capacidad emulsificante (CE) como se menciona en la Ecuación 13. La estabilidad de las emulsiones se cuantificó con el índice de cremado descrito por Chen *et al* (2016) realizando algunas modificaciones. Las emulsiones se calentaron a 80 °C por 30 min, se centrifugaron a 1000 G durante 5 min y se midió la altura de la capa de suero (HCS) y la altura total de la mezcla (HT) para calcular el índice de cremado (IC) con la Ecuación 16.

$$IC = [HCS / HT] \times 100 \quad (16)$$

Donde IC = Índice de cremado, HCS = Altura de la capa emulsificada, HT = Altura total. Las variables experimentales permitieron elaborar una superficie de respuesta considerando tres velocidades de agitación (5000, 10000, 15000 rpm), tres diferentes pH (3, 5, 7) y tres gomas (pectina de mango, pectina cítrica y goma arábica).

### 6.12.3. Microscopía de las emulsiones.

De la sección anterior, se seleccionó el mejor tratamiento para observar las emulsiones en un microscopio (Zeiss West III RS, Oberkochen, Alemania) equipado con una cámara (AmScope MU 1400, California, USA), usando una amplificación de 40x.

# RESULTADOS Y DISCUSION

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en las distintas etapas experimentales y se discuten con respecto a lo que se ha reportado en la literatura. Los resultados mostrados son el promedio de tres repeticiones y su desviación estándar en todos los casos.

### 7.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima

De acuerdo a la NOM-129-SCFI-1998, el mango indostano se caracteriza por presentar frutos de cáscara gruesa, pulpa fibrosa y morfología predominantemente redonda, como se puede observar con los frutos utilizados en este proyecto (Figura 10). Todas ellas fueron seleccionadas considerando uniformidad en color, tamaño, forma y apariencia, las cuales cambian en función de cada variedad.

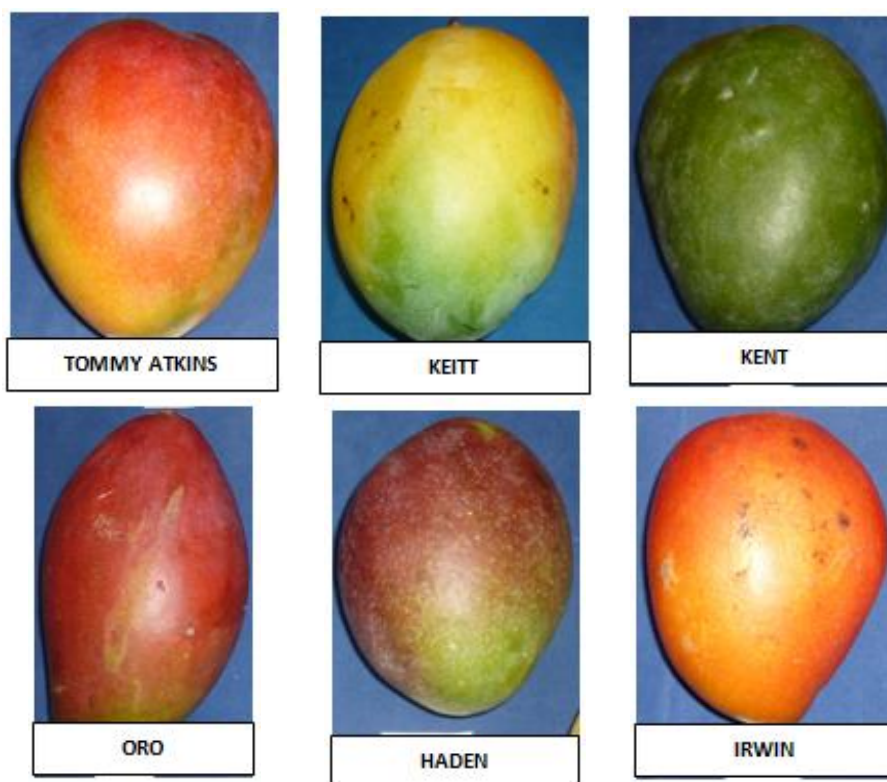


Figura 11. Morfología de las variedades estudiadas en el proyecto.

Estos frutos presentan mayor peso comparado con las variedades del mango mulgova, esta cualidad lo hace poco interesante para la industria procesadora de

jugos; por lo que frutos como los utilizados en este proyecto se quedan para ser consumidos en fresco, como frutos de mesa. Se cuantificó el peso de cada fruto y se separaron las fracciones de éstos en cáscara, pulpa y semilla. La variedad Tommy Atkins (Tabla 4) presenta frutos de mayor tamaño, mientras que el mango de la Keitt posee la mayor proporción de cáscara. De todo el grupo estudiado, la variedad Irwin es la que posee la semilla de mayor tamaño.

Tabla 4. Cantidad de cáscara, pulpa y semilla de las variedades indostanas.

Variedad	Masa total (g)	Cáscara (%)	Pulpa (%)	Semilla (%)
Tommy Atkins	595.4 ± 49.9 <sup>a</sup>	10.4 ± 1.0 <sup>d</sup>	78.5 ± 1.8 <sup>ab</sup>	10.2 ± 1.1 <sup>bc</sup>
Keitt	482.7 ± 08.7 <sup>ab</sup>	17.1 ± 1.1 <sup>a</sup>	72.0 ± 1.3 <sup>d</sup>	10.5 ± 0.2 <sup>b</sup>
Kent	568.3 ± 98.6 <sup>a</sup>	11.7 ± 0.4 <sup>cd</sup>	80.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	07.7 ± 0.7 <sup>c</sup>
Oro	395.8 ± 39.7 <sup>bc</sup>	15.3 ± 0.5 <sup>ab</sup>	73.9 ± 1.5 <sup>cd</sup>	10.8 ± 1.9 <sup>b</sup>
Haden	282.2 ± 20.8 <sup>c</sup>	13.4 ± 0.8 <sup>bc</sup>	75.9 ± 0.7 <sup>bc</sup>	10.7 ± 0.2 <sup>b</sup>
Irwin	412.4 ± 46.3 <sup>bc</sup>	10.1 ± 0.3 <sup>d</sup>	74.3 ± 0.6 <sup>cd</sup>	15.0 ± 0.6 <sup>a</sup>

Superíndices con la misma letra en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas con una  $p=0.05$ .

Tabla 5. Índice de madurez de las variedades analizadas.

Variedad	SST(°Bx)	Acidez (%)	pH	IM
Tommy Atkins	15.40 ± 0.26 <sup>ab</sup>	0.47 ± 0.03 <sup>bc</sup>	3.77 ± 0.11 <sup>b</sup>	32.76
Keitt	13.77 ± 0.68 <sup>cd</sup>	0.58 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.89 ± 0.06 <sup>ab</sup>	23.74
Kent	14.63 ± 0.54 <sup>bc</sup>	0.41 ± 0.06 <sup>c</sup>	4.05 ± 0.06 <sup>a</sup>	35.68
Oro	12.70 ± 0.51 <sup>d</sup>	0.54 ± 0.06 <sup>ab</sup>	4.02 ± 0.03 <sup>a</sup>	23.51
Haden	13.68 ± 0.53 <sup>cd</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>ab</sup>	3.99 ± 0.01 <sup>a</sup>	24.42
Irwin	16.147 ± 0.60 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.53 ± 0.06 <sup>c</sup>	26.44

SST = Sólidos solubles totales, IM = Índice de madurez. Superíndices con la misma letra en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas con una  $p=0.05$ .

De acuerdo a la Tabla 5, el índice de madurez está en un intervalo de 23.51 a 35.68, valores con mayor frecuencia en mango con madurez comercial, se estableció este intervalo como los límites para discriminar entre frutos que cumplen con los requisitos de madurez para estandarizar la madurez de la materia prima para este proyecto.

## 7.2. Análisis químico proximal de la materia prima

En la Figura 12 se observa la cáscara, pulpa y semilla deshidratada posterior a su acondicionamiento, a estas muestras se les realizó el análisis químico proximal.

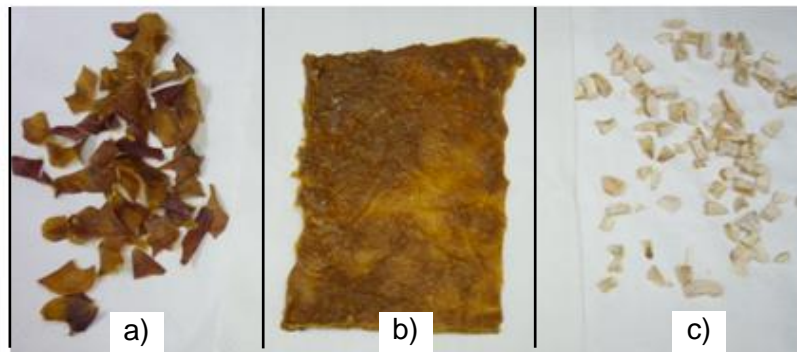


Figura 12. Fracciones deshidratadas de mango: a) Cáscara, b) Pulpa y c) Semilla.

Cabe señalar que la semilla se encuentra protegida por el endocarpio y para su liberación fue necesario realizar la eliminación de la protección fibrosa y las cubiertas internas, estructuras que se pueden observar en la Figura 13. El germen fue cortado en cuadros pequeños para aumentar la superficie de contacto y sometido al mismo proceso de deshidratación que se realizó para la cáscara.

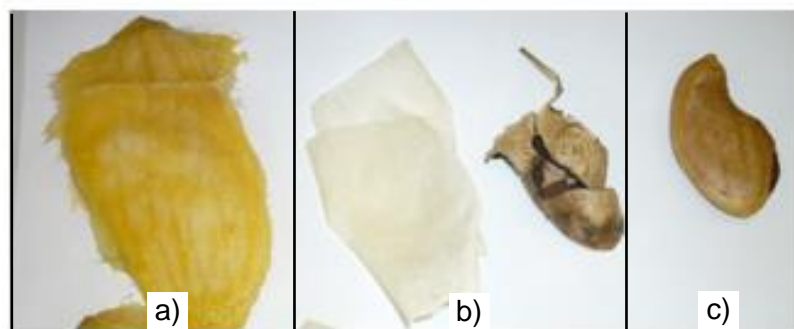


Figura 13. Estructura del endospermo: a) Testa, b) Pergamino y c) Germen.

Los resultados del análisis químico proximal se presentan en forma tabulada, ya que esta modalidad permite comparar las variedades con respecto a la composición de cada una de sus fracciones.

### 7.2.1. Cáscara

De acuerdo a la Tabla 6, los carbohidratos son los componentes que se encuentran en mayor proporción en todas las variedades sin encontrarse diferencias significativas.

Tabla 6. Análisis químico proximal de la cáscara de mango indostano.

Variedad	Componente en base seca (%)				
	Carbohidratos	Proteínas	Lípidos	Fibra cruda	Cenizas
Tommy Atkins	68.43±4.12 <sup>a</sup>	3.61±1.03 <sup>a</sup>	3.59±0.01 <sup>ab</sup>	19.75±2.01 <sup>a</sup>	4.62±0.19 <sup>ab</sup>
Keitt	72.24±3.87 <sup>a</sup>	1.97±0.08 <sup>a</sup>	4.43±0.09 <sup>a</sup>	16.82±0.07 <sup>a</sup>	4.54±0.06 <sup>ab</sup>
Kent	71.11±2.76 <sup>a</sup>	4.33±0.93 <sup>a</sup>	3.36±0.54 <sup>ab</sup>	17.34±2.88 <sup>a</sup>	3.86±0.21 <sup>ab</sup>
Oro	67.67±2.33 <sup>a</sup>	3.73±0.09 <sup>a</sup>	4.16±0.34 <sup>a</sup>	20.80±1.90 <sup>a</sup>	3.62±0.06 <sup>b</sup>
Haden	73.53±2.74 <sup>a</sup>	1.34±0.14 <sup>a</sup>	3.30±0.09 <sup>ab</sup>	18.11±0.28 <sup>a</sup>	3.71±0.07 <sup>b</sup>
Irwin	73.61±4.23 <sup>a</sup>	3.32±0.65 <sup>a</sup>	2.18±0.34 <sup>b</sup>	15.63±0.33 <sup>a</sup>	5.26±0.56 <sup>a</sup>

Superíndices con la misma letra en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas con una p= 0.05.

Después de los carbohidratos solubles es importante mencionar la presencia de fibra cruda en un intervalo del 15 al 20%. La cáscara es rica en carbohidratos totales y fibra cruda, con valores cercanos a los que reporta Kansci *et al.*, (2008). La cáscara de mango es una fuente rica en carbohidratos, entre los que se puede encontrar la pectina. Kratchanova *et al* (1991) indican la presencia pectina en cáscara de mango cv. Keitt. Castro *et al.*, (2003) reporta que en la cáscara de mango Keitt se pueden encontrar proteínas y fibra cruda, como se muestran en los resultados obtenidos en este trabajo.

### 7.2.2. Pulpa

Los resultados del análisis químico proximal en pulpa de mango de todas las variedades indican que los carbohidratos son los componentes más abundantes en esta fracción, como se muestra en la Tabla 7. Es posible observar que la pulpa tiene menor cantidad de fibra cruda comparada con la cáscara. La fibra cruda es el segundo componente en mayor abundancia en las muestras analizadas. Srirangarajan y Shrikhande (1977) mencionan que la pulpa de mango es una buena fuente de fibra cruda, carbohidratos solubles y proteínas. En las muestras de pulpa de mango no se encontraron cantidades significativas de lípidos, pero se puede afirmar que se trata de un sustrato rico en carbohidratos y fibra cruda.

Tabla 7. Análisis químico proximal de la pulpa de mango indostano.

Variedad	Componente en base seca (%)				
	Carbohidratos	Proteínas	Lípidos	Fibra cruda	Cenizas
Tommy Atkins	89.06±3.21 <sup>a</sup>	3.60±0.07 <sup>ab</sup>	0.52±0.10 <sup>a</sup>	4.70±0.95 <sup>ab</sup>	2.12±0.02 <sup>bc</sup>
Keitt	91.09±2.96 <sup>a</sup>	2.12±0.08 <sup>c</sup>	0.33±0.10 <sup>a</sup>	3.68±0.17 <sup>b</sup>	2.78±0.31 <sup>ab</sup>
Kent	87.36±3.07 <sup>a</sup>	3.73±0.32 <sup>a</sup>	0.65±0.12 <sup>a</sup>	7.08±0.57 <sup>a</sup>	1.18±0.07 <sup>c</sup>
Oro	86.59±3.14 <sup>a</sup>	3.38±0.08 <sup>ab</sup>	0.34±0.06 <sup>a</sup>	6.47±0.61 <sup>ab</sup>	3.22±0.05 <sup>ab</sup>
Haden	86.77±3.91 <sup>a</sup>	3.16±0.36 <sup>abc</sup>	0.43±0.02 <sup>a</sup>	6.61±0.66 <sup>ab</sup>	3.02±0.32 <sup>ab</sup>
Irwin	89.63±3.48 <sup>a</sup>	2.53±0.07 <sup>c</sup>	0.28±0.06 <sup>a</sup>	4.22±0.18 <sup>ab</sup>	3.33±0.21 <sup>a</sup>

Superíndices con la misma letra en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas con una  $p = 0.05$ .

### 7.2.3. Semilla

Es importante notar que la semilla es rica en carbohidratos en un promedio del 80% (Tabla 8), es posible que uno de los carbohidratos corresponde al almidón.



Tabla 8. Análisis químico proximal de la semilla de mango indostano.

Variedad	Componente en base seca (%)				
	Carbohidratos	Proteínas	Lípidos	Fibra cruda	Cenizas
Tommy Atkins	76.58±4.86 <sup>a</sup>	4.81±0.06 <sup>bc</sup>	12.01±0.26 <sup>a</sup>	4.07±0.08 <sup>ab</sup>	2.53±0.10 <sup>b</sup>
Keitt	74.91±3.55 <sup>a</sup>	6.76±0.14 <sup>a</sup>	7.80±0.25 <sup>bc</sup>	2.10±0.14 <sup>b</sup>	8.43±1.53 <sup>a</sup>
Kent	81.50±3.91 <sup>a</sup>	3.32±0.44 <sup>d</sup>	8.05±0.38 <sup>bc</sup>	5.24±0.06 <sup>a</sup>	1.89±0.98 <sup>b</sup>
Oro	80.37±3.07 <sup>a</sup>	3.82±0.06 <sup>cd</sup>	9.45±0.94 <sup>ab</sup>	3.84±0.03 <sup>ab</sup>	2.51±0.12 <sup>b</sup>
Haden	84.13±2.68 <sup>a</sup>	5.33±0.19 <sup>b</sup>	6.19±0.30 <sup>c</sup>	2.89±0.87 <sup>b</sup>	1.47±0.44 <sup>b</sup>
Irwin	86.73±2.69 <sup>a</sup>	3.41±0.14 <sup>d</sup>	5.78±0.22 <sup>c</sup>	2.16±0.21 <sup>b</sup>	1.91±0.16 <sup>b</sup>

Superíndices con la misma letra en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas con una  $p = 0.05$ .

Kaur *et al.*, (2004) reporta haber encontrado cantidades importantes de almidón en el germen de mango. Además, comparado con la cáscara y la pulpa, la semilla posee hasta un 12% de extracto etéreo. De acuerdo a Lakshminarayana (1983), la semilla de mango tiene en promedio 10% de lípidos y puede ser una fuente de extracción de aceite vegetal comestible. A partir de los datos mostrados se puede inferir que el germen de la semilla de mango puede ser fuente para la extracción de almidón y también podría ser considerado como una fuente para la extracción de aceite. Debido a la información anterior, se procedió a cuantificar almidón en el germen de mango.

### 7.3. Acondicionamiento del método de extracción de pectina.

Para el acondicionamiento del método se trabajó con la cáscara y pulpa de la variedad Keitt debido a que cuando se realizó este experimento era la variedad que estaba disponible en el mercado. Para la extracción de la pectina a partir de los residuos insolubles al alcohol algunos autores como Bernardini *et al.*, (2005), Assous *et al.*, (2007) y Koubala *et al.*, (2009) sugieren emplear una proporción 1:20 p/v (muestra:agua acidificada) a pH 1.5 con ácido clorhídrico. Se realizó la extracción de pectina a partir de cáscara y pulpa de mango Keitt, inicialmente se utilizó la dilución

en agua acidificada como lo recomiendan los autores mencionados; sin embargo, al iniciar la ebullición la solución se tornó muy densa, al grado de impedir la agitación. Se ensayaron diversas diluciones hasta determinar que la dilución p/v 1:100 muestra:agua acidificada fue la ideal. La extracción se llevó a cabo de acuerdo a Sirisakulwat *et al.*, (2010), que incluye un proceso de acidificación para ocasionar hidrólisis, precipitación con etanol (Figura 14), filtración y secado de la pectina. El rendimiento total de acuerdo a los tratamientos utilizados se muestra en la Tabla 9 y surgió a partir de la combinación de las variables experimentales de la Tabla 3.

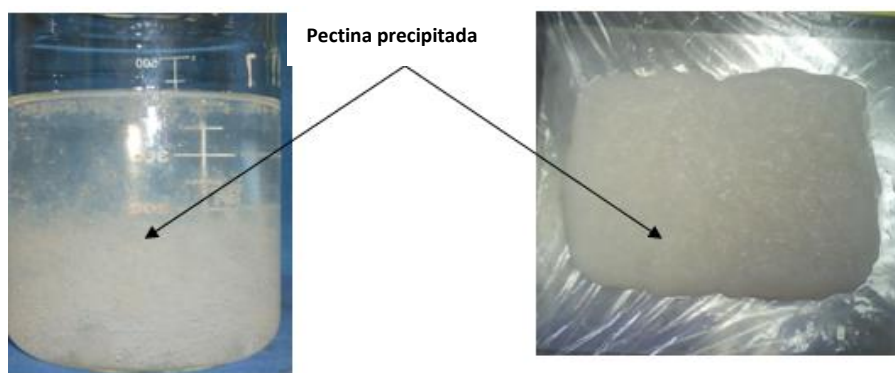


Figura 14. Precipitación con etanol en la extracción de pectina.

Tabla 9. Rendimiento en la extracción de pectina de cáscara y pulpa de mango Keitt.

Tratamiento	pH	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Rendimiento (%)	
				Cáscara	Pulpa
1	3	30	60	10.15 ± 1.70	1.12 ± 0.73
2	3	30	90	12.18 ± 0.81	2.31 ± 0.12
3	3	60	60	11.17 ± 2.53	0.91 ± 0.37
4	3	60	90	14.8 ± 0.92	1.10 ± 0.31
5	4	30	60	16.51 ± 1.14	1.58 ± 0.24
6	4	30	90	23.50 ± 3.94	2.56 ± 0.74
7	4	60	60	17.20 ± 0.91	1.80 ± 0.81
8	4	60	90	20.21 ± 2.12	2.03 ± 0.22

Como se observa, la cáscara es la fracción que presenta mayor cantidad de pectinas en comparación con la pulpa. Debido a la desviación estándar, se puede afirmar que para extraer pectina de la cáscara se obtuvieron resultados similares con los tratamientos 6 y 8, mientras que para la pectina de la pulpa los tratamientos 6 y 7 presentaron rendimientos similares. Debido a que los tratamientos 7 y 8 requieren el doble de temperatura que los demás tratamientos mencionados, se optó porque durante todo el proceso de extracción de la cáscara y pulpa de todas las variedades debería realizarse bajo las condiciones del tratamiento 6, es decir, pH de 4, tiempo de hidrólisis de 30 min y temperatura de 90 °C.

#### 7.4. Extracción de pectina de mango

Los resultados de la extracción de pectina para todas las variedades se pueden observar en la Figura 15.

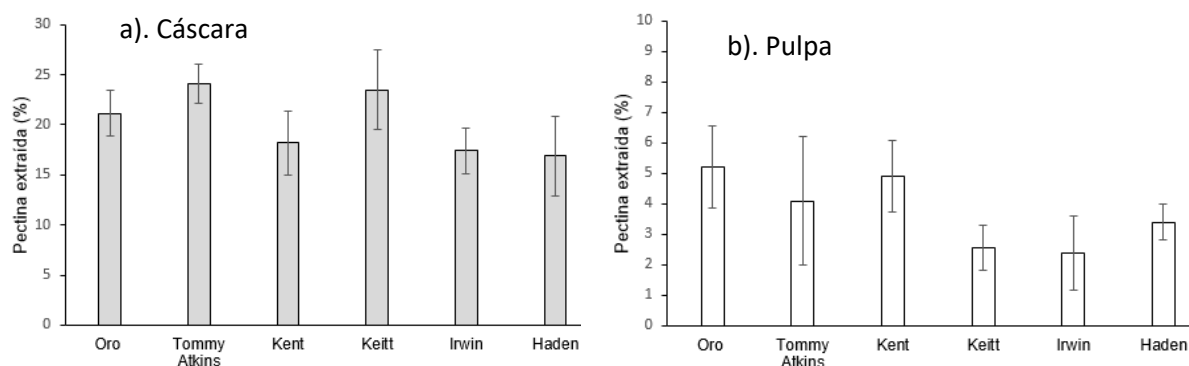


Figura 15. Rendimiento de la extracción de pectina de mango.

Srirangarajan y Shrikhande (1977) determinaron 13% de rendimiento en base seca en la variedad Alfonso, mientras que Kratchanova *et al.*, (1991) reportó 24.5% de pectina en cáscara de mango variedad Ceni, finalmente Saeed (1975) en la variedad Kitchner logró extraer hasta 33% de pectina. Se sabe que en la cáscara de cítricos el rendimiento puede llegar hasta el 30%, mientras que en pulpa de manzana oscila entre el 20 al 25%. Por lo anterior, se puede establecer que a partir de la cáscara de mango se estaría en condiciones de competir como una materia prima con rendimientos comparables a lo que se ha reportado de manera comercial.

## **7.5. Caracterización química de la pectina**

Los resultados de la caracterización química incluyen algunos parámetros de la composición química proximal y análisis especiales en las muestras de pectina.

### **7.5.1. Humedad**

Las pectinas obtenidas fueron deshidratadas en una campana de corriente de aire a temperatura ambiente hasta llegar a peso constante. Las muestras quedaron con una humedad promedio de 8 al 10%, lo cual se ha reportado está dentro de las condiciones adecuadas para permitir su conservación.

### **7.5.2. Proteínas**

Se cuantificó el nitrógeno total en las muestras de pectina y se utilizó el factor 6.25 para convertir este valor en proteína total. Los resultados se pueden ver en la Tabla 10, en el cual se puede apreciar que las pectinas extraídas a partir de la pulpa fueron las que presentaron mayor cantidad de proteína total en comparación con aquellas que fueron extraídas de la cáscara. En todas las pectinas estudiadas existe proteínas, en la pectina cítrica Sigma se presenta 1.31% de proteínas, Leroux *et al.*, (2003) se reportan 0.93% en pectina cítrica analizada mediante el mismo método. En pectina extraída a partir de cáscara de mango se encontró un intervalo de proteínas entre 0.24 a 2.54%, dependiendo de la variedad. Sin embargo es notable la mayor cantidad de pectina cuando ésta se extrajo a partir de pulpa de mango, bajo estas condiciones se reporta entre 4.2 a 8.06%. Sólo se tiene un reporte de proteína en pectina de mango, Kratchanova *et al.*, (1991) indican haber encontrado entre 1.1 a 7.4% (Tabla 11), dependiendo de la variedad y de la fuente de extracción. Por otra parte, para la pectina de remolacha azucarera Williams *et al.*, (2005) reportaron hasta 10.4% de proteína, debido a esto se ha evaluado la propiedad emulsificante en este polisacárido con muy buenos resultados. Lo anterior indica que la pectina de mango posee cantidades importantes de proteína, esta particularidad sugiere que la pectina de mango puede ser un aditivo con potencial para poder ser usado como emulsificante.

Tabla 10. Cuantificación de proteínas en muestras de pectina.

Muestra	Variedad	Proteína (%)
Pectina cítrica		1.31 ± 0.20
Pectina de cáscara	Tommy Atkins	0.24 ± 0.04
	Oro	0.84 ± 0.09
	Keitt	1.69 ± 0.03
	Kent	0.76 ± 0.05
	Irwin	2.13 ± 0.11
	Haden	2.54 ± 0.29
Pectina de pulpa	Tommy Atkins	6.96 ± 0.10
	Oro	5.09 ± 0.09
	Keitt	8.00 ± 0.34
	Kent	8.06 ± 0.61
	Irwin	4.27 ± 0.62
	Haden	4.20 ± 0.15

Tabla 11. Proteínas en pectina de mango de Nueva Guinea (Kratchanova *et al.*, 1991)

Muestra	Variedad	Proteína (%)
Pectina de manzana		1.1
Pectina de cáscara	Ceni	3.3
	Springfield	1.1
Pectina de pulpa	Ceni	5.6
	Springfield	7.4

### 7.5.3. Extracto etéreo

No se tienen reportes en la literatura de trabajos en los que se haya cuantificado lípidos en pectina. Para lo anterior se procedió como lo indica la técnica

estandarizada de la AOAC, utilizando éter de petróleo como medio de extracción. Los resultados se pueden observar en la Tabla 12.

Tabla 12. Cuantificación de lípidos en muestras de pectina.

Muestra	Variedad	Lípidos (%)
Pectina cítrica		5.41 ± 0.17
Pectina de cáscara	Tommy Atkins	1.35 ± 0.42
	Oro	1.30 ± 0.21
	Keitt	1.87 ± 0.11
	Kent	1.98 ± 0.09
	Irwin	1.45 ± 0.27
	Haden	1.33 ± 0.43
Pectina de pulpa	Tommy Atkins	1.45 ± 0.37
	Oro	0.87 ± 0.06
	Keitt	1.39 ± 0.48
	Kent	1.26 ± 0.35
	Irwin	0.98 ± 0.07
	Haden	1.52 ± 0.19

En pectina cítrica se encontraron valores de hasta 5.41% de extracto etéreo, en la pectina de mango los valores fueron pequeños. Existe la posibilidad de que en la pectina cítrica se hayan arrastrado compuestos lipídicos provenientes de la cáscara, sustrato rico en aceite esencial para el caso de los lípidos. Por otro lado, la cáscara y pulpa de mango no son fuentes importantes de lípidos, por ello las cantidades encontradas fueron muy bajas. Estos datos complementan el perfil de caracterización química de las pectinas, de las cuales no se tienen reportes y por ello no se realiza su comparación con la bibliografía.

#### 7.5.4. Ácido galacturónico

Para el análisis de la pectina extraída se elaboró una curva tipo de ácido galacturónico (Figura 16), ya que es el componente que se encuentra en mayor proporción en la molécula de pectina.

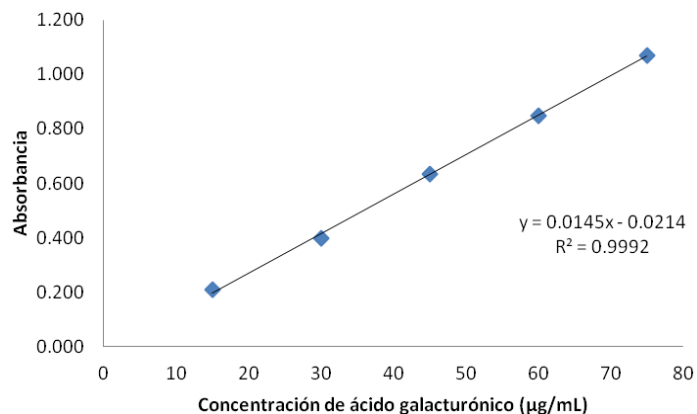


Figura 16. Curva de calibración para la determinación de ácido galacturónico.

La curva de calibración permite realizar la cuantificación del contenido de ácido galacturónico en todas las muestras de pectina. Como se puede observar en la Figura 17, en las variedades Kent, Oro y Tommy Atkins se identificó más del 65% de ácido galacturónico en muestras de pectina de cáscara de mango. La FAO establece que una muestra debe contener un mínimo de 65% de ácido galacturónico para ser considerada como pectina.

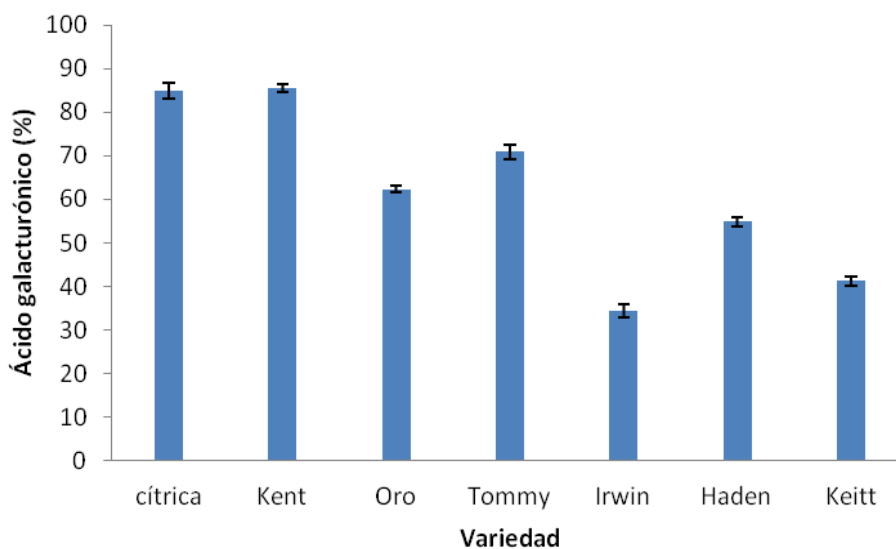


Figura 17. Ácido galacturónico en pectina de mango.

Para el caso de la pectina de pulpa de mango (Figura 18), se observa más del 60% de ácido galacturónico en la mayoría de las muestras. Sin embargo, en las variedades Keitt e Irwin el resultado es inferior al 65%, situación que los ubica en desventaja para considerarlos como variedades con buena calidad de pectina.

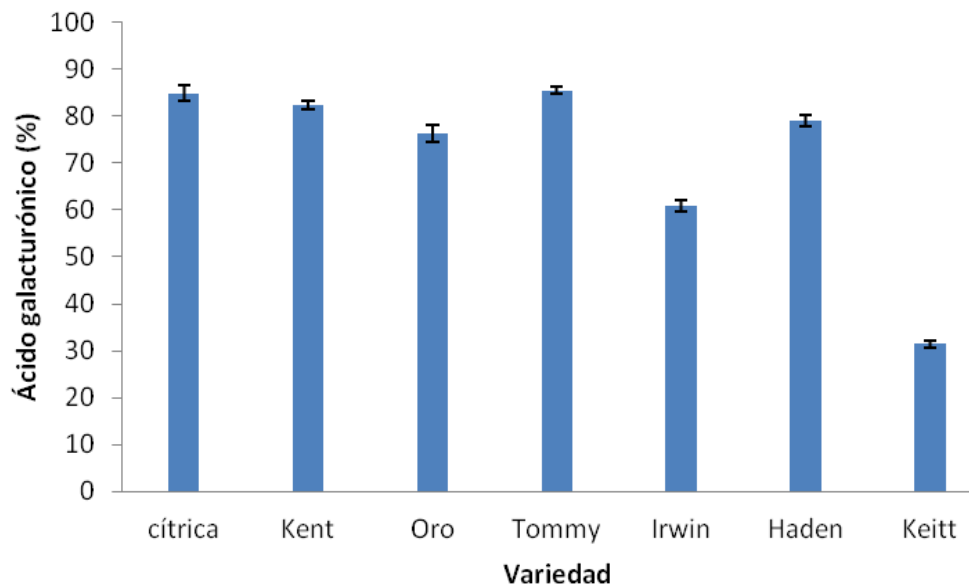


Figura 18. Ácido galacturónico en pectina de pulpa de mango.

Aunque la mayoría de las muestras están dentro del 70% de ácido galacturónico que se reporta para pectina de mango (Assous *et al.*, 2007; Bernardini *et al.*, 2005; Ferrerira *et al.*, 1995; Fishman *et al.*, 1991; Gamboa 2009; Koubala *et al.*, 2008; Kratchanova *et al.*, 1991) en las variedades Irwin y Keitt se identificó menor calidad de la pectina.

### 7.5.5. Acetilación

Se obtuvo una curva tipo (Figura 19) utilizando una solución de  $\beta$ -D-glucosa pentaacetato como estándar, se trata de un compuesto que se encuentra totalmente acetilado. Se prepararon diluciones con una concentración de 120, 240, 300 y 420  $\mu$ g de acetilos y se midió la absorbancia a 520 nm.



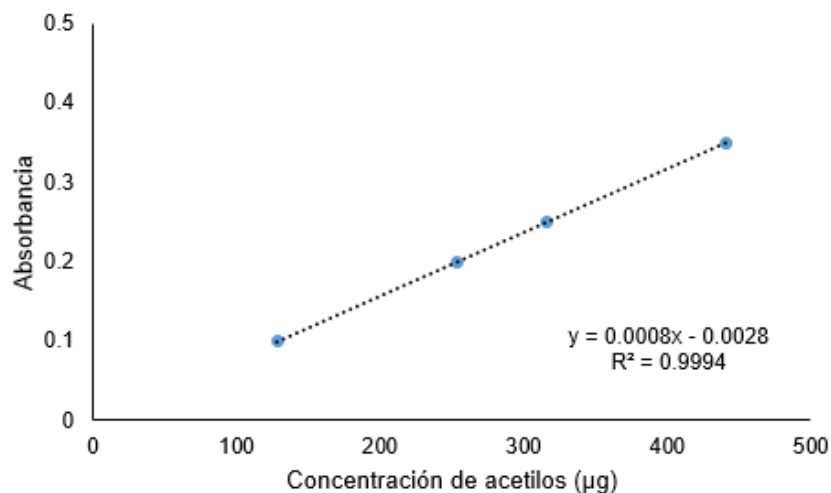


Figura 19. Curva de calibración para la determinación de acetilos.

Se realizaron diversas diluciones hasta encontrar la concentración de pectina cuyo grado de acetilación estuviera dentro de los límites de la curva tipo, estas diluciones fueron cambiando de acuerdo a la muestra utilizada (tipo de pectina, sustrato del cual fue extraído). En la Tabla 13 se muestran los resultados obtenidos de la determinación del grado de acetilación, se utilizó como estándar la pectina cítrica ya sirvió como medio de comparación con respecto a las muestras de pectina de mango. El grado de acetilación influye directamente sobre la solubilidad de la pectina, se ha reportado que la pectina cítrica se encuentra libre de grupos acetilos, mientras que la remolacha posee hasta 4% de acetilación y la pectina de zanahoria puede llegar a tener un 2%, cuando se tiene mayor grado de acetilación existe mayor dificultad para que ocurra la solubilización (Ralet et al., 2005). Por otro lado, Tamaki *et al* (2008) encontraron 2.1 % de acetilación en pectina de *Citrus depressa* (mandarina de Taiwan). El contenido de grupos acetilo varía considerablemente, se han reportado valores promedio de 0.2% para pectina cítrica y de cereza, pero de 3 a 4% para pectina de pera, durazno y remolacha (Kertesz y Lavin, 1954). En este trabajo se reporta apenas 0.398% para la pectina cítrica, lo que está dentro de los parámetros establecidos por la literatura. Para el caso de pectina de mango Koubala *et al.*, (2008) reportan haber determinado 3% de acetilación en mango Amelioree, mientras que Saeed (1975) indica que el mango Alphonso, Kitchener y Abu Samaka presenta una acetilación de 0.565, 0.556 y 0.412, respectivamente. Sin embargo, la

mayoría de los trabajos experimentales omiten realizar esta determinación (Raj y Ranganathan, 2012).

Tabla 13. Determinación de acetilos en pectina cítrica y pectina de mango.

Muestra	Fracción	Acetilación (%)
Oro	Cáscara	0.464 ± 0.01
	Pulpa	0.425 ± 0.01
Tommy Atkins	Cáscara	0.295 ± 0.03
	Pulpa	0.299 ± 0.01
Kent	Cáscara	0.235 ± 0.01
	Pulpa	0.182 ± 0.01
Keitt	Cáscara	0.646 ± 0.07
	Pulpa	0.329 ± 0.02
Irwin	Cáscara	0.393 ± 0.03
	Pulpa	0.211 ± 0.02
Haden	Cáscara	0.486 ± 0.02
	Pulpa	0.250 ± 0.01
Cítrica		0.398 ± 0.04

#### 7.5.6. Metoxilación

Se realizó la determinación del grado de metoxilación en las muestras de pectina de cáscara, en la Figura 20 se puede observar que todas tienen más del 50 % de grupos metoxilo, por lo tanto, pueden ser consideradas como pectinas de alto metoxilo. La misma determinación se hizo en pectina de pulpa (Figura 21), en donde se observa un comportamiento similar comparado con la pectina de cáscara. Los datos anteriores indican que a partir de las fracciones de mango (cáscara o pulpa) se puede obtener pectina de alto metoxilo mediante el método utilizado

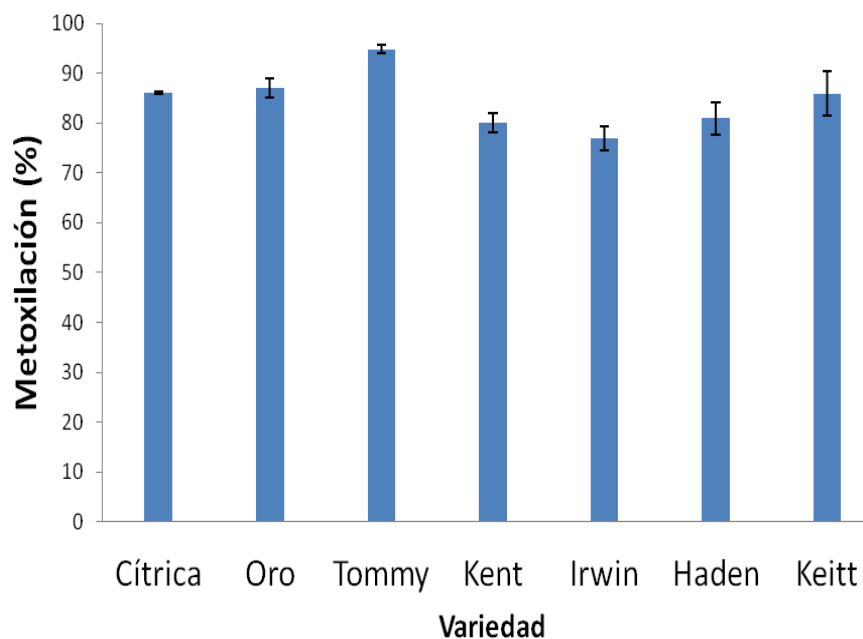


Figura 20. Grado de metoxilación en pectina de cáscara de mango.

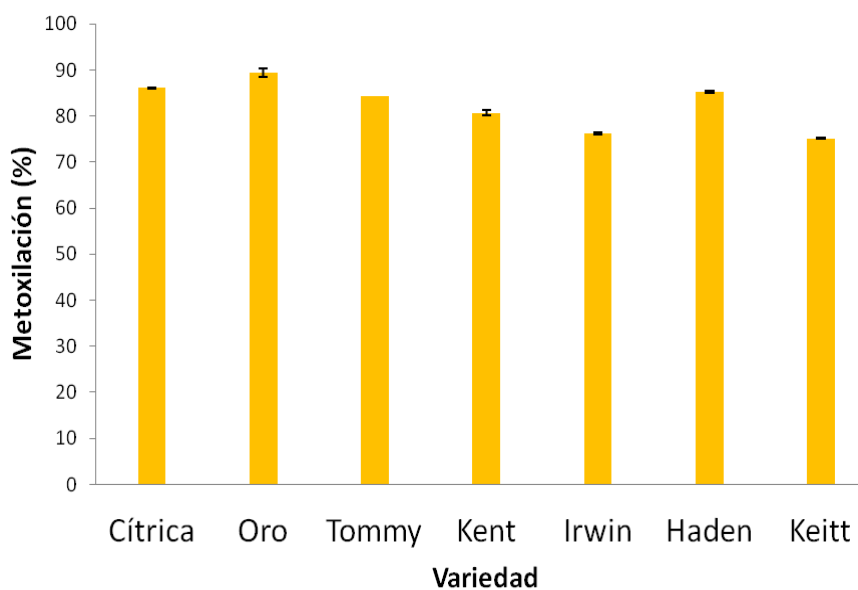


Figura 21. Grado de metoxilación en pectina de pulpa de mango.

## 7.6. Caracterización física

En esta etapa se realizó la determinación de la pureza de las pectinas obtenidas, para ello se analizó el contenido de ácido galacturónico. Posteriormente se realizaron

determinaciones de grupos metilo y acetilo. Las pruebas físicas correspondieron a la determinación de parámetros calorimétricos.

### 7.6.1. Viscosidad intrínseca y peso molecular

Se puede observar, de acuerdo a la Figura 22, que el aumento de la concentración es directamente proporcional al aumento en la densidad, bajo las mismas condiciones de temperatura (25°C).

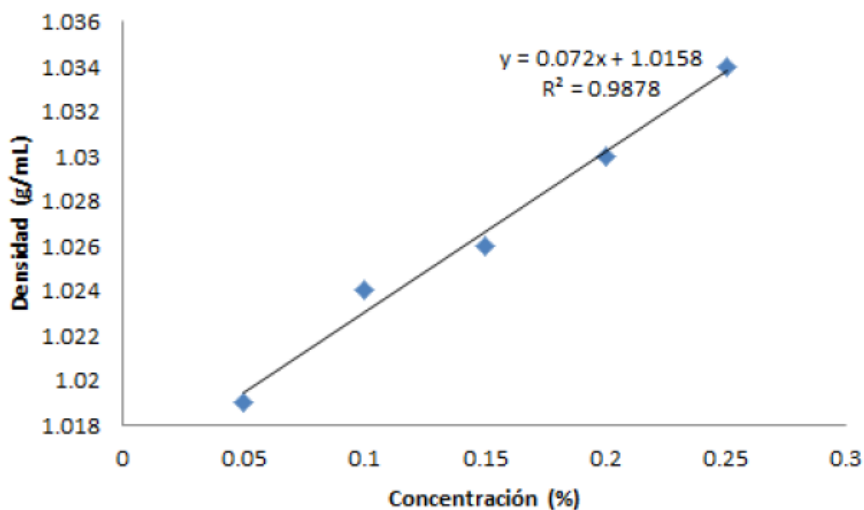


Figura 22. Relación de la concentración contra densidad en dispersiones de pectina.

La viscosidad intrínseca representa la resistencia al desplazamiento de la solución de pectina dentro del capilar del viscosímetro. De acuerdo a los datos de la Tabla 14, se puede observar que el peso molecular promedio de la pectina de cáscara de mango está en un intervalo de 63.4 a 135 kDa, siendo Tommy Atkins y Kent las que mostraron mayor peso molecular en comparación con la pectina cítrica. Para el caso de pectina de cáscara de mango Ceni se determinó un peso molecular de 77 kDa (Kratchanova, *et al.*, 1991), Amelioree con 140 kDa (Koubala, 2008), Alphonso con 105 kDa y Dassehri con 147.9 kDa (Srirangarajan y Shikandhe, 1977). Sin embargo, ninguna de estas variedades poseen las características de mango Indostano (de hecho, todas ellas son mango Mulgova). Para la pectina cítrica Koubala (2008) reporta 123 kDa, lo cual se encuentra muy cerca a lo determinado en este trabajo;

además, para la pectina de manzana se reporta un peso molecular de 121.3 kDa (Srirangarajan y Shikandhe, 1977).

Tabla 14. Viscosidad intrínseca y peso molecular en pectina de cáscara de mango.

Muestra	Viscosidad intrínseca (m <sup>3</sup> /kg)	Peso molecular (kDa)
Haden	0.286 ± 0.002	93.1 ± 5
Oro	0.289 ± 0.007	94.5 ± 7
Tommy Atkins	0.406 ± 0.002	135.0 ± 3
Kent	0.324 ± 0.003	108.0 ± 8
Keitt	0.211 ± 0.006	68.1 ± 5
Irwin	0.195 ± 0.003	63.0 ± 4
Cítrica	0.234 ± 0.003	73.1 ± 9

En un estudio de pectina de pulpa de mango (Saeed, 1975), se reporta pesos moleculares de las variedades Kitchner y Abu –Samaka en 24.4 y 27.1 kDa, respectivamente. Sin embargo, esta variedad también presenta características de mango Mulgova. Los datos de la Tabla 15, muestran los valores obtenidos para viscosidad intrínseca y peso molecular en pectina de pulpa de mango Indostano.

Tabla 15. Viscosidad intrínseca y peso molecular en pectina de pulpa de mango.

Muestra	Viscosidad intrínseca (m <sup>3</sup> /kg)	Peso molecular (kDa)
Cítrica	0.234 ± 0.003	73.1 ± 9
Haden	0.203 ± 0.003	65.6 ± 4
Oro	0.234 ± 0.003	75.6 ± 8
Tommy Atkins	0.3.9 ± 0.001	102.5 ± 3
Kent	0.291 ± 0.004	95.6 ± 3
Keitt	0.289 ± 0.002	95.0 ± 8
Irwin	0.226 ± 0.007	72.9 ± 7

Comparando las Tablas 14 y 15, el peso molecular de la pectina de pulpa es inferior al de la cáscara. Prasanna *et al* (2004) reportan que durante la maduración hay acción de algunas enzimas como la pectinmetilesterasa y poligalacturonasa sobre la pectina, lo que ocasiona el rompimiento de la estructura molecular y en consecuencia el ablandamiento del fruto. Lo anterior permite justificar a que se debe que el peso molecular de la pectina de pulpa sea inferior comparado con el de la cáscara.

### 7.6.2. Punto de fusión

Se utilizó un medidor de punto de fusión (Figura 23), para ubicar la temperatura a la cual funde la pectina. Se estandarizó el método utilizando dos polisacáridos determinando 175°C para la inulina y 183°C para sacarosa, datos que coinciden con la ficha técnica de los reactivos.



Figura 23. Equipo para la medición del punto de fusión.

Al realizar el mismo procedimiento para las muestras de pectina se observó que éstas no pasaron a un estado líquido, permanecieron como polvos y se encontró un punto en el cual la pectina pasaba de su color original hacia un color negro sin pasar por estado líquido (Figura 24), lo cual indica que se calcinó.

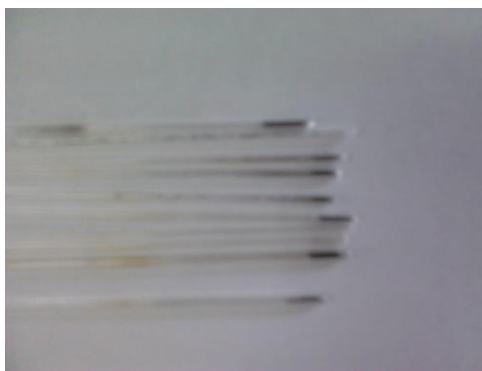


Figura 24. Tubos capilares con pectina calcinada.

Bajo este contexto, se puede afirmar que la pectina no presenta punto de fusión y en lugar de ello se presentó una “temperatura de descomposición térmica” (Figura 25), con este dato, se realiza una caracterización más completa, además de que se hace evidente que no existe un punto de fusión para la pectina, situación que no se había reportado previamente.

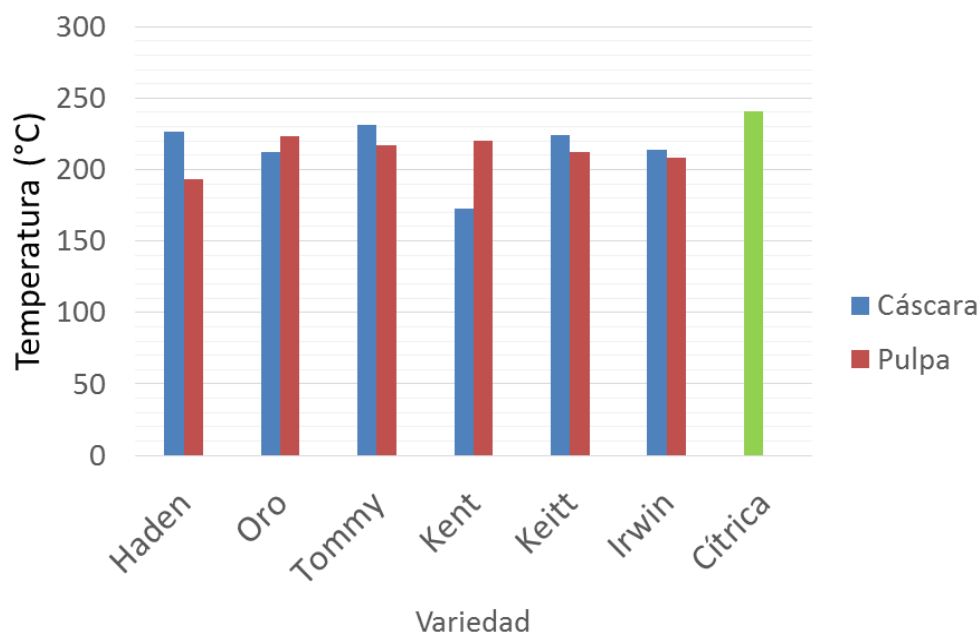
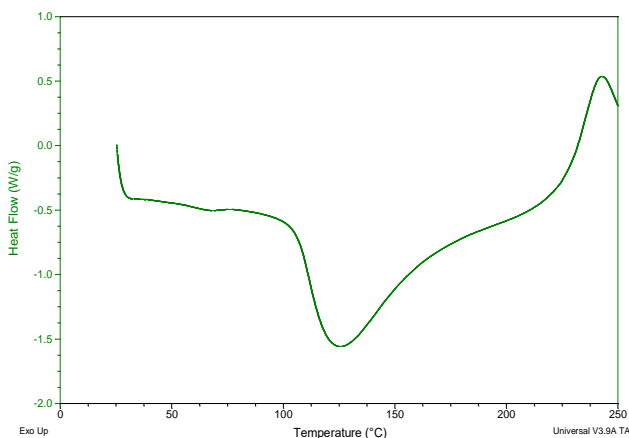


Figura 25. Temperatura de descomposición térmica en pectina cítrica y de mango.

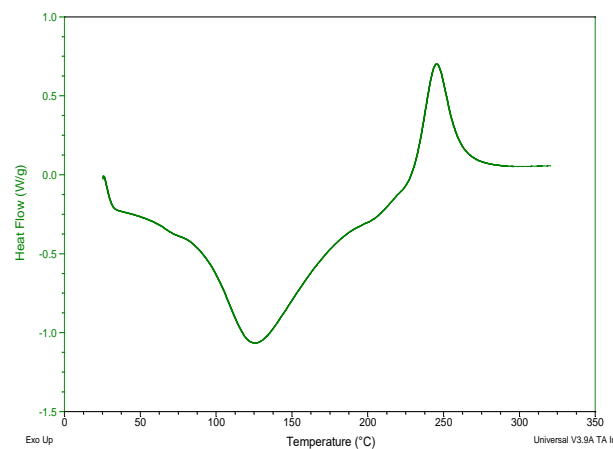
Las muestras pécticas llegaron a la descomposición térmica en un intervalo de 180 a 220°C. Acevedo y Ramírez (2011) llegan a la misma conclusión, ya que en dos muestras de pectina de diferentes cítricos se reportó 184°C y 230°C, respectivamente. Esto indica que la pectina en su mayoría se presenta como un polímero amorfo, contrario a lo que se presenta para los polímeros cristalinos como la sacarosa.

### 7.7. Calorimetría diferencial de barrido

Se establecieron las condiciones para la determinación de las características físicas de la pectina iniciando estudios con pectina cítrica, se utilizó una rampa de 10°C/min y la temperatura máxima utilizada en la primera determinación fue de 250°C (Figura 26-a).



a. Temperatura máxima de 250°C



b. Temperatura máxima de 320°C

Figura 26. Establecimiento de las condiciones de operación para el equipo de DSC.

Como no se observó completamente la curva descendente se optó por ampliar la temperatura a 320°C (Figura 26-b), de esta manera se observa plenamente el comportamiento de la pectina cítrica desde temperatura ambiente hasta llegar a un estado de degradación térmica.

A pesar de las limitaciones del primer estudio, se realizó una determinación con cáscara de mango variedad Tommy Atkins (Figura 27) para analizar su comportamiento, ya que fue la variedad que presentó la mayor pureza y rendimiento. Se observa una ligera depresión que en la Figura 27 se denota como Tg, esto corresponde a la temperatura de transición vítrea (Tg) a 65°C. Posteriormente, se encuentra una depresión, lo que corresponde a un comportamiento exotérmico, genéricamente se le denomina a este punto como temperatura de cristalización; sin embargo, para este caso expresa la temperatura necesaria para ocasionar la evaporación completa del agua hasta dejar la pectina totalmente deshidratada.

En la pectina cítrica se elimina el agua a 125°C, mientras que la pectina de mango llega a ese estado a 149°C. La última elevación de la curva se presentó en promedio a 240°C (242°C para pectina cítrica y 240°C para pectina de mango), esta temperatura coincide con la temperatura de descomposición térmica encontrada mediante la determinación del punto de fusión.



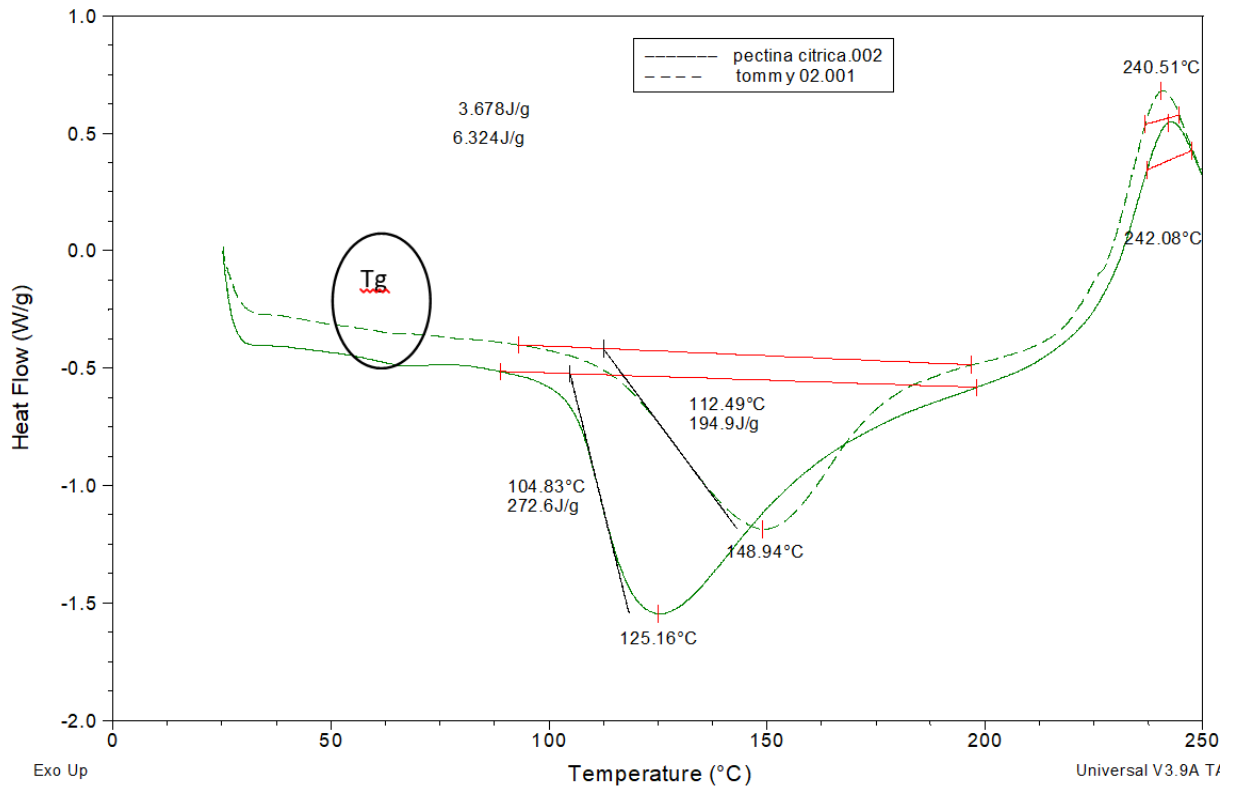


Figura 27. Termograma comparativo entre pectina cítrica y pectina de cáscara de mango Tommy Atkins.

Einhorn-Stoll y Kunzek (2009) determinaron la temperatura de descomposición térmica en promedio a 250°C para pectina cítrica con diferentes tratamientos. Para el caso de pectina de mango no existen termogramas que apoyen las temperaturas obtenidas. Con las condiciones ya establecidas (Figura 26-b) se procedió a realizar la determinación del comportamiento térmico de las muestras de pectina de cáscara y pulpa, como se puede observar en las Figura 28 y 29.

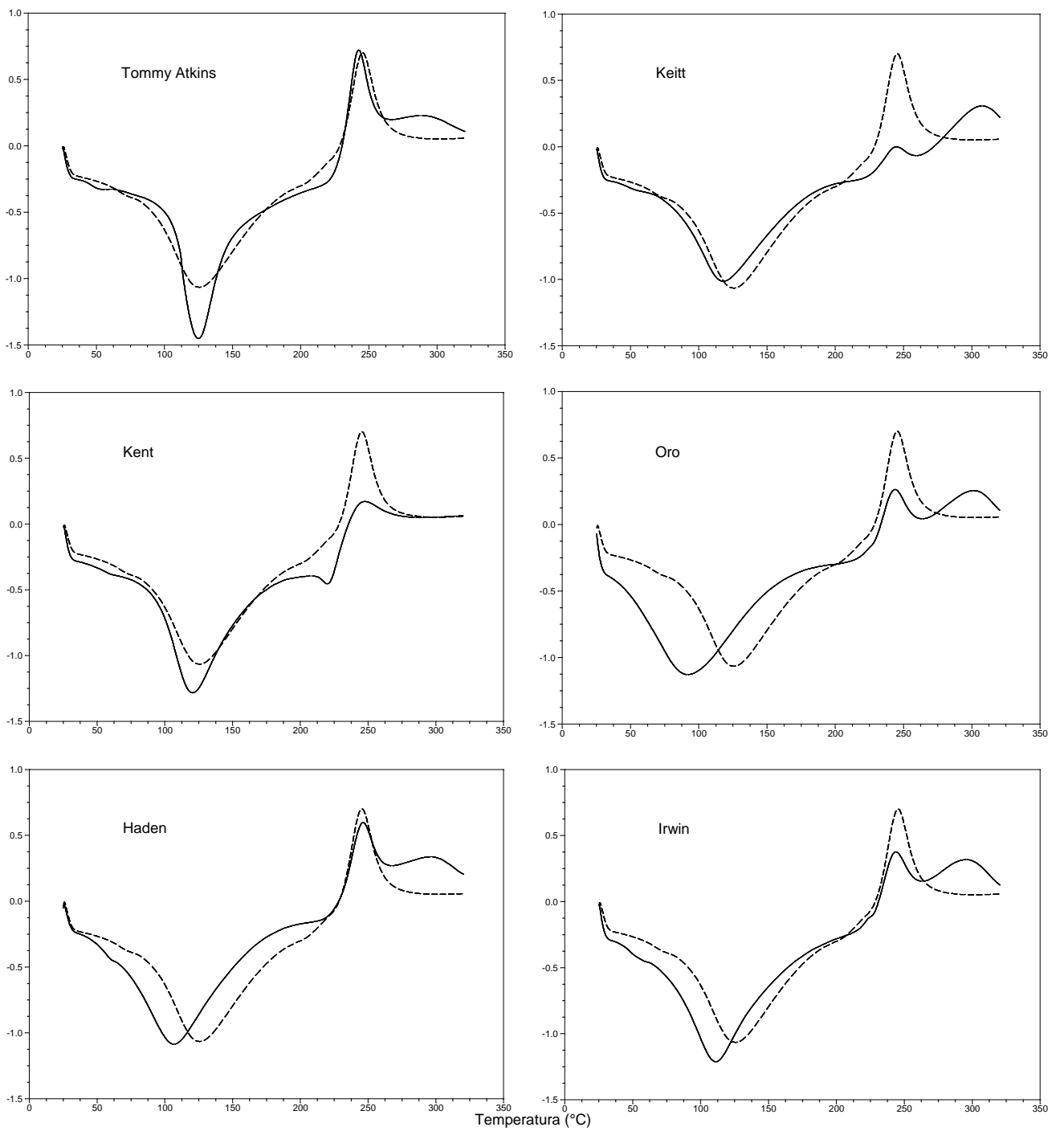


Figura 28. Termogramas de pectina de cáscara de mango y pectina cítrica (línea punteada).

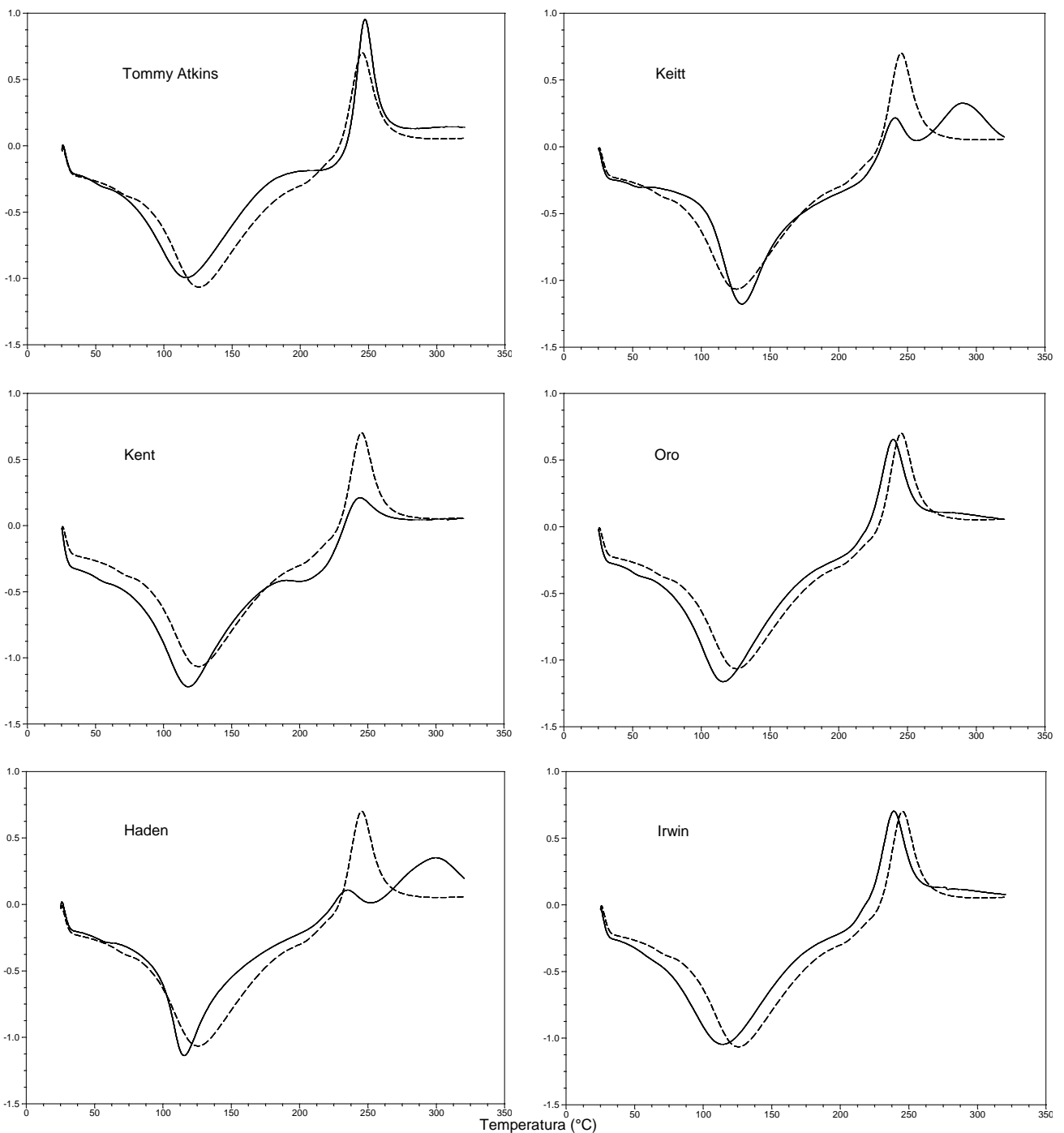


Figura 29. Termogramas de pectina de pulpa de mango y pectina cítrica (línea punteada).

Del mismo modo que en la Figura 28, en la Figura 29 también se observan algunas muestras con una curva adicional. El comportamiento de ambas figuras se resume en las Tablas 16 y 17. Se observa que algunas muestras no presentan temperatura de transición vítrea, como ocurre con la pectina de cáscara de mango oro. La

temperatura de deshidratación es de 125°C, mientras que la degradación térmica fue detectada a 245°C. La transición vítrea es el cambio que necesita una mínima cantidad de energía, se trata de un cambio endotérmico. Contrario a lo que ocurre con la degradación térmica en donde existe un proceso exotérmico, ya que se libera en promedio 1.5 J/g°C para que se realice el cambio.

Tabla 16. Parámetros calorimétricos en pectinas de cáscara de mango mediante DSC.

Muestra	Transición vítrea				Eliminación de agua				Degradación térmica				
	$\Delta T$ (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	$\Delta H$ (J/g)	CP (J/g°C)	$\Delta T$ (°C)	T (°C)	$\Delta H$ (J/g)	CP (J/g°C)	$\Delta T$ (°C)	T (°C)	$\Delta H$ (J/g)	CP (J/g°C)	
Cáscara de mango:	Cítrica	64.52-	67.50	0.36	-0.03	80.01-	125.50	213.60	-1.98	229.05-	244.94	93.71	2.07
		79.08				187.55				274.26			
	Tommy	44.12-	46.51	1.94	-0.11	109.04-	124.11	117.00	-2.88	229.21-	241.77	62.45	2.21
		62.30				149.63				257.48			
	Haden	55.44-	57.07	0.66	-0.06	76.98-	107.24	146.50	-1.75	230.93-	245.13	42.94	1.51
		66.34				160.51				259.34			
	Oro	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	52.76-	90.70	153.30	-1.84	229.38-	242.47	28.43	1.02
						136.27				257.17			
	Irwin	46.14-	48.08	1.22	-0.07	82.54-	110.49	105.10	-1.77	228.94-	242.51	31.71	1.12
		63.23				141.86				257.17			
	Keitt	43.70-	47.92	0.61	-0.03	88.47-	118.21	143.00	-1.75	230.77-	242.51	8.48	0.37
		66.03				170.45				253.75			
Kent	51.61-	55.22	0.73	-0.03	95.92-	119.83	143.90	-2.33	223.08-	243.54	74.02	1.34	
	74.73				158.02				278.30				

Tabla 17. Parámetros calorimétricos en pectinas de pulpa de mango mediante DSC.

Muestra	Transición vítrea				Eliminación de agua				Degradación térmica			
	$\Delta T$ (°C)	$T_g$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)	CP (J/g°C)	$\Delta T$ (°C)	T (°C)	$\Delta H$ (J/g)	CP (J/g°C)	$\Delta T$ (°C)	T (°C)	$\Delta H$ (J/g)	CP (J/g°C)
Cítrica	64.52-	67.50	0.36	-0.03	80.01-	125.50	213.60	-1.98	229.05-	244.94	93.71	2.07
	79.08				187.55				274.26			
Tommy	53.82-	49.27	0.43	-0.06	83.41-	116.55	145.50	-1.82	235.85-	247.08	76.37	2.74
	61.05				163.31				263.69			
Haden	49.49-	55.30	0.72	-0.04	99.00-	115.16	95.82	-2.00	220.31-	233.52	11.96	0.45
	68.51				147.14				246.60			
Oro	46.45-	49.77	0.67	-0.04	89.40-	115.54	113.00	-1.67	223.95-	239.05	56.83	1.83
	63.85				152.12				254.99			
Irwin	52.52-	56.59	0.04	-0.002	82.87-	114.48	123.40	-1.66	223.89-	238.30	57.65	1.91
	69.13				157.40				254.06			
Keitt	44.81-	48.73	1.30	-0.06	105.78-	128.83	121.30	-2.17	225.96-	239.35	21.69	0.88
	67.58				161.75				250.64			
Kent	48.09-	50.54	0.46	-0.03	88.00-	117.52	141.40	-2.00	223.23-	241.28	36.11	1.00
	62.30				158.95				259.34			

Las características presentadas por las muestras de pectina indican una alta resistencia a la degradación térmica, lo cual puede contribuir a proponer estos aditivos para el procesamiento de algunos productos a altas temperaturas.

### 7.8. Comportamiento al flujo.

El estudio del comportamiento al flujo indica la capacidad de un material para que en función de la concentración de las dispersiones pueda lograr un cambio en su viscosidad al ser estudiado. En la Figura 30 se muestra el comportamiento al flujo de las pectinas de cáscara de mango de las seis variedades en estudio.

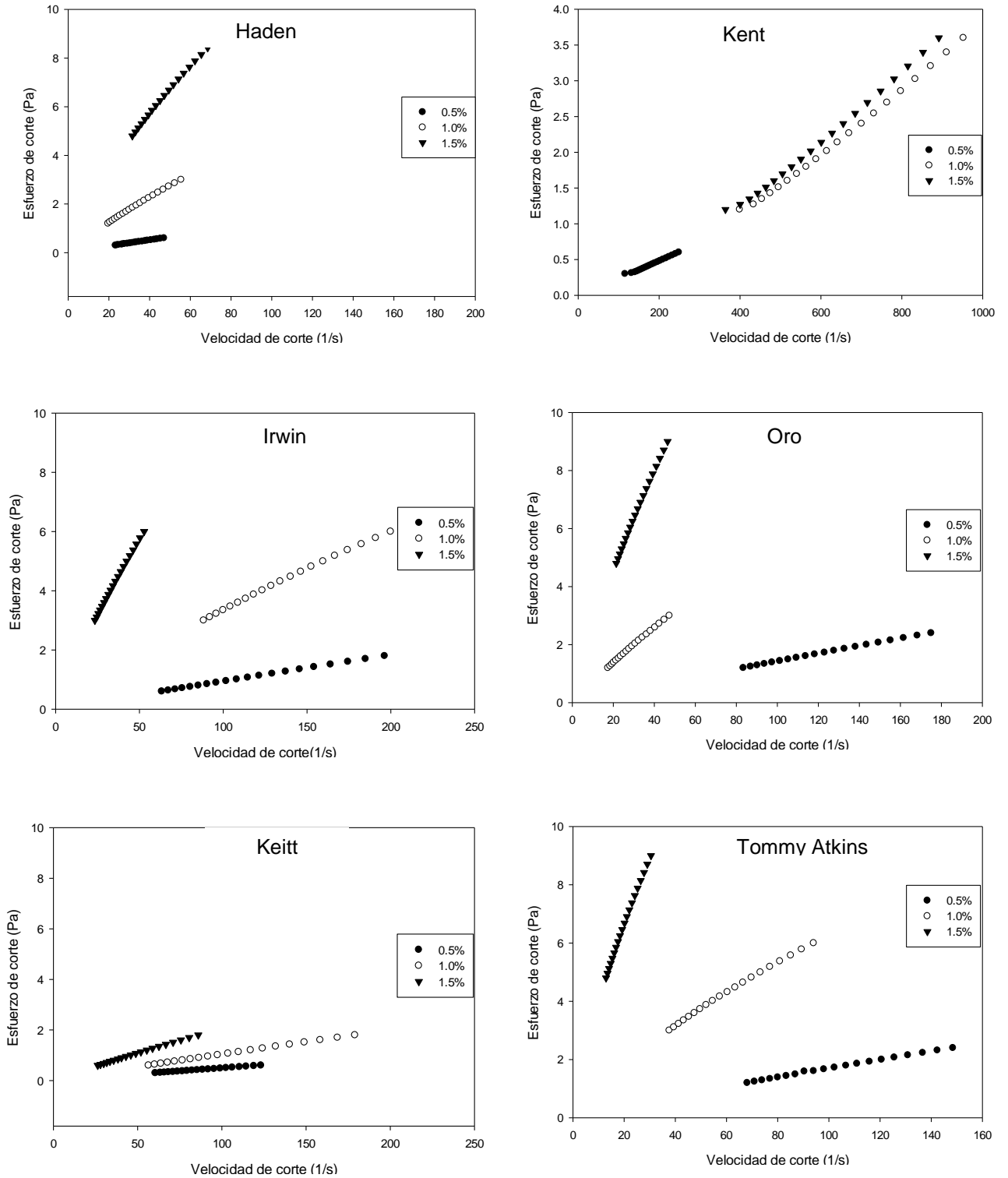


Figura 30. Comportamiento al flujo de la pectina de cáscara de mango.

Se observa que a bajas concentraciones se presenta un comportamiento lineal de tipo Newtoniano y conforme aumenta la concentración el comportamiento tiende a ser cada vez más pseudoplástico. Al analizar el comportamiento a 1.5% para todas las muestras es posible apreciar que la pectina de cáscara de mango Tommy Atkins y Oro son las dos muestras que presentaron una mayor viscosidad a una misma concentración. Esto puede estar relacionado con las características químicas de la molécula ya que como se ha descrito previamente también estas muestras presentaron una mayor resistencia a la degradación térmica. En la Figura 31 se puede comparar el comportamiento de las pectinas estudiadas en relación a la pectina cítrica comercial.

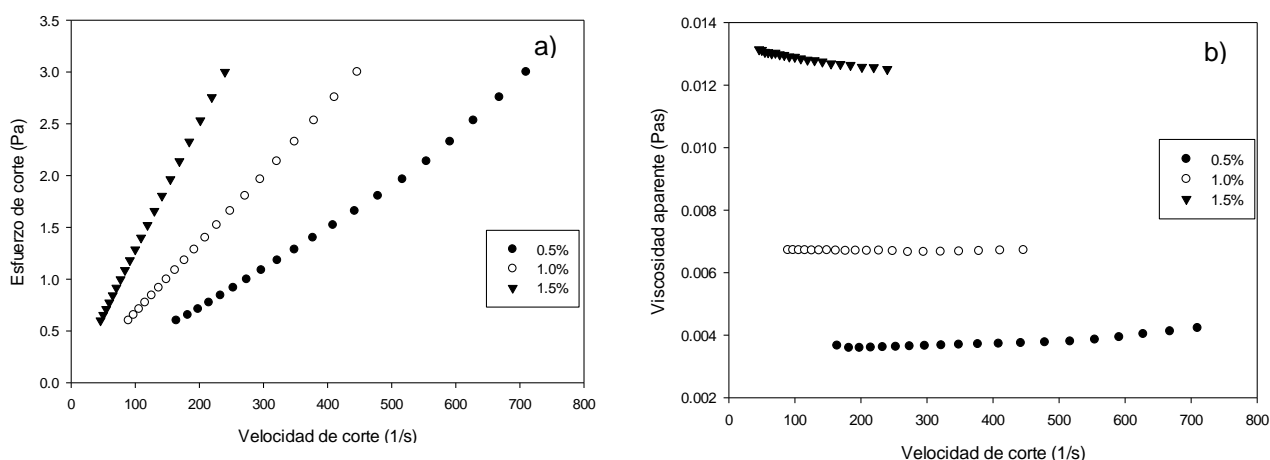


Figura 31. Comportamiento al flujo de pectina cítrica. a) Esfuerzo de corte vs velocidad de corte, b) Viscosidad aparente vs velocidad de corte.

Es posible observar que Keitt y Kent presentan menor viscosidad que la pectina cítrica, pero las variedades Tommy Atkins y Oro presentaron una alta viscosidad comparado con la pectina cítrica, mientras que para Irwin y Haden puede asumirse que tienen un comportamiento al flujo similar a la pectina cítrica.

Por otro lado, también se realizó el estudio de comportamiento al flujo para las pectinas de pulpa de mango de las seis variedades en estudio, los resultados de esfuerzo de corte contra velocidad de corte se observan en la Figura 32. Nuevamente, a bajas concentraciones el comportamiento lineal tiende a ser Newtoniano y este cambia a pseudoplástico al aumentar la concentración.

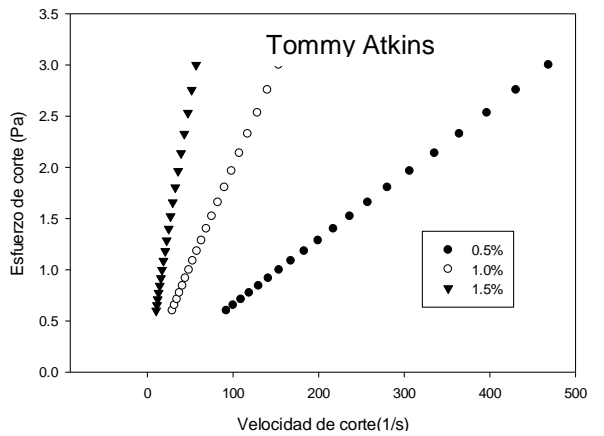
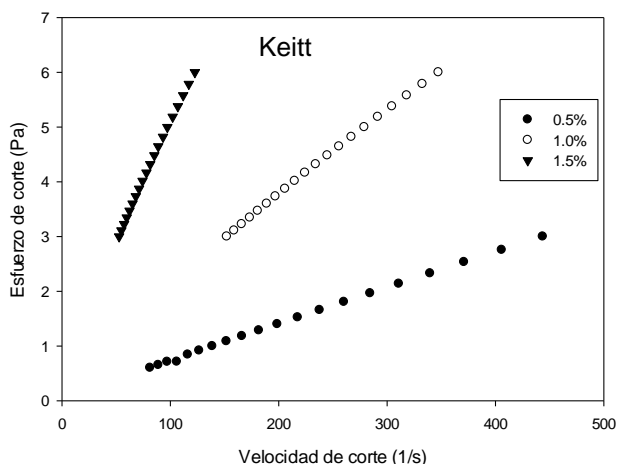
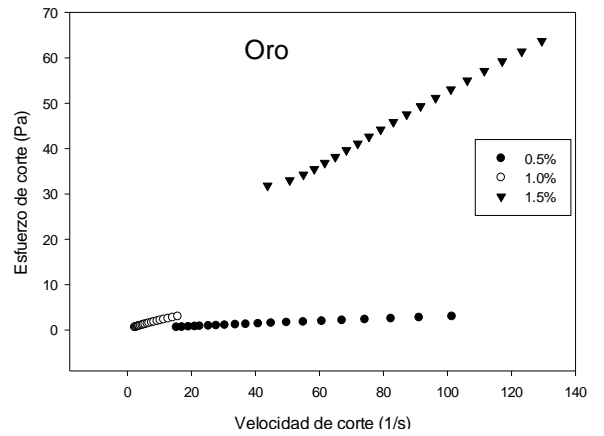
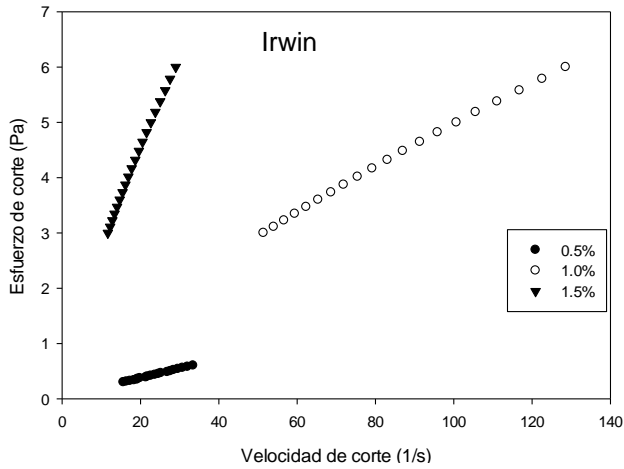
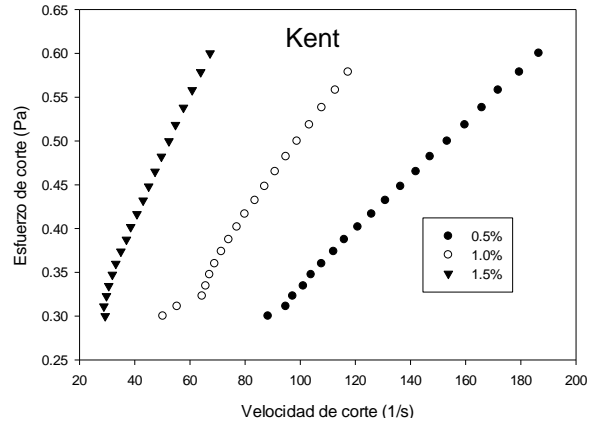
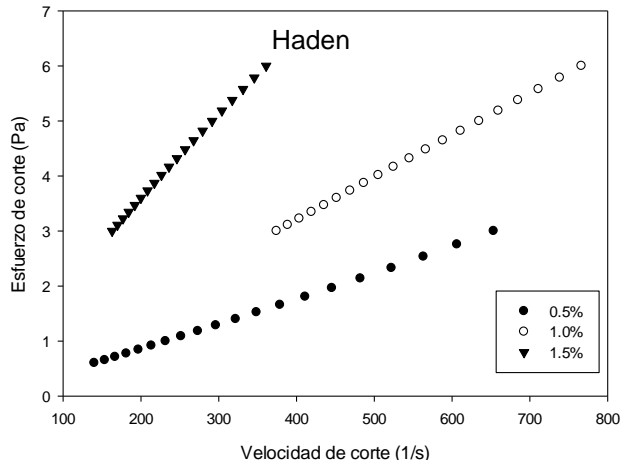


Figura 32. Comportamiento al flujo de pectina de pulpa de mango.



En este caso es posible identificar que todas las muestras de pectina de pulpa presentaron mayor viscosidad que la pectina de cáscara de la misma variedad y por consecuencia, tuvieron un mejor comportamiento viscoso que la pectina cítrica. El resultado de este estudio indica en primer lugar que los frutos de mango pueden servir como fuente para la obtención de pectina con mejor comportamiento viscoso que la pectina cítrica comercial, lo que lo puede potencializar como un fruto con áreas de oportunidad para ser aprovechado en la extracción de aditivos, como la pectina cuando se presente una alta oferta de frutos en el mercado y el precio tienda a disminuir.

### 7.9. Espectroscopía infrarrojo con transformadas de Fourier (FT-IR)

En la Figura 33 se presenta el espectro de la pectina cítrica comercial, en la región I y II se observa la huella digital reportada para las pectinas, mientras que la región IV y V se reporta la zona de grupos esterificados y no esterificados, respectivamente.

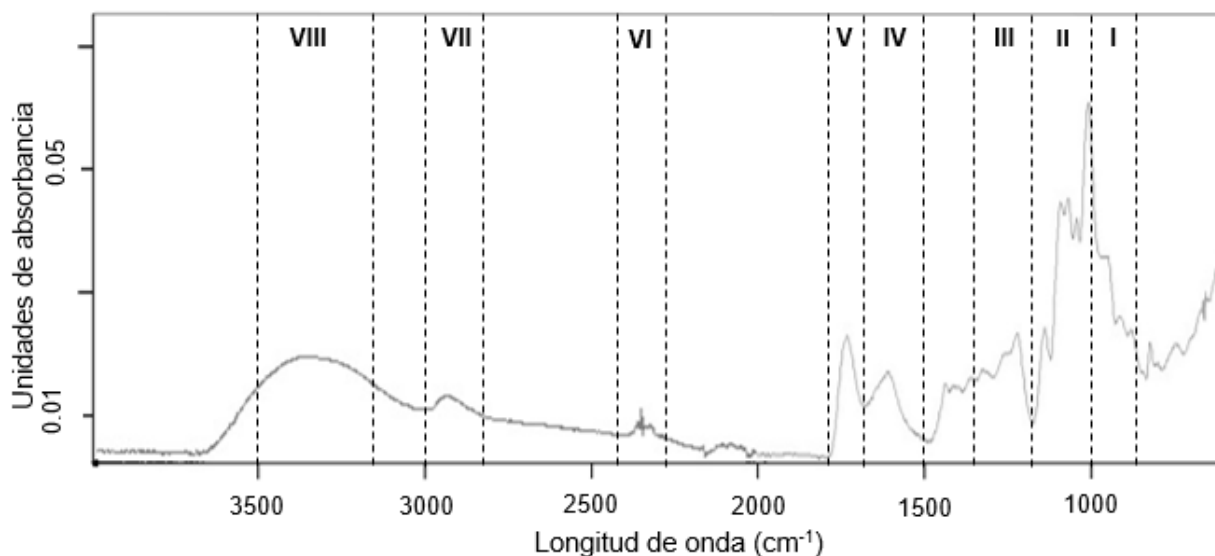


Figura 33. Espectro infrarrojo para la pectina cítrica.

La región VII y VIII se ha descrito para grupos relacionados con la glucosa, la unidad fundamental de las cadenas del ácido galacturónico. En la Figura 34 se muestran los espectros de las pectinas de cáscara de mango, mientras que en la Figura 35 se reportan los resultados para las pectinas de pulpa de mango.

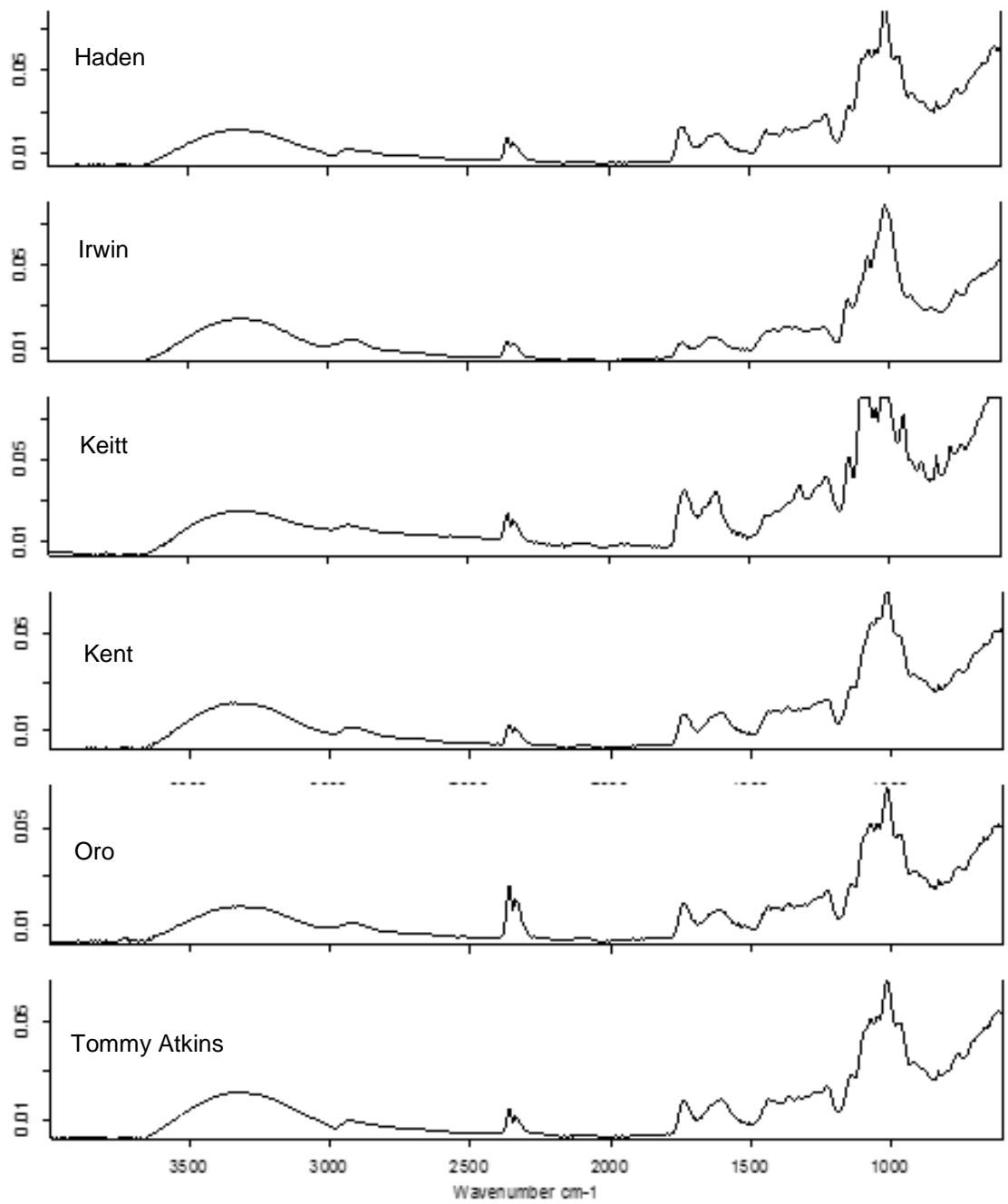


Figura 34. Espectro infrarrojo para la pectina de cáscara de mango.

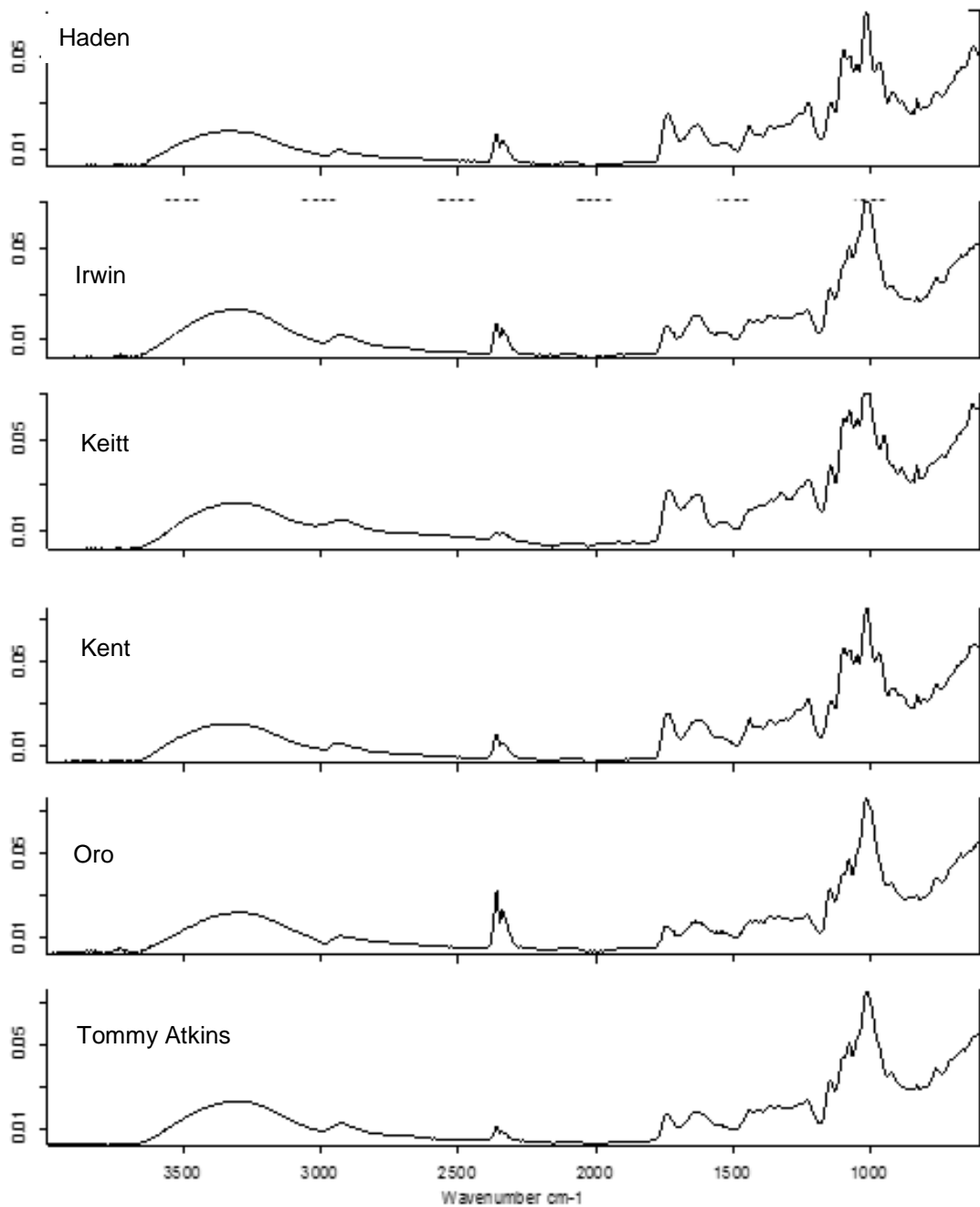


Figura 35. Espectro infrarrojo para la pectina de pulpa de mango.

Los espectros indican que las muestras de pectina de mango también presentan una huella digital entre  $800$  y  $1200\text{ cm}^{-1}$ , región que se caracteriza por diferentes absorciones debido a múltiples vibraciones en interacción (Mierczynska, 2017). Se detectó una máxima absorción de energía en  $1014\text{ cm}^{-1}$ , Daoub et al. (2016) identificaron una señal cercana ( $1029\text{ cm}^{-1}$ ) para goma de *Acacia senegal* e indican

que representa las bandas C-H de alcanos. La región entre 1224 y 1439  $\text{cm}^{-1}$  puede corresponder a una zona de estiramiento simétrico C=O y a enlaces O-H del ácido galacturónico (Daoub, 2016). Los grupos carboxílicos esterificados (C=O) con grupos metilo y grupos carboxílicos no esterificados (COO-) se detectaron en 1734 y 1634  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente. En todas las muestras de pectina se detectó una banda de absorción entre 3300 y 3500  $\text{cm}^{-1}$  que se debe a los enlaces O-H de extensión (Hosseini2016), lo que puede indicar enlaces glucosídicos de la cadena principal del ácido galacturónico.

## **7.10. Caracterización funcional**

En esta sección se analizan los resultados obtenidos para la caracterización funcional de la pectina de mango.

### **7.10.1. Fibra dietaria**

Los resultados de fibra dietaria (Tabla 18 y Tabla 19) indican que la mayor parte de la pectina corresponde a fibra soluble, mientras que una mínima parte corresponde a fibra insoluble, entre las que se puede encontrar la lignina Klason.

De acuerdo a la Tabla 19, existe mayor cantidad de lignina Klason en las muestras de las variedades Keitt e Irwin, lo anterior afecta la cantidad de fibra soluble, ya que ocasiona que ésta disminuya. Cabe señalar que la lignina Klason es el residuo sólido que resistió el proceso de hidrólisis enzimática y ácida, se cuantifica el peso posterior a que se ha llegado a peso constante. Al sumar los subtotales de cada una de las fracciones no se alcanza el 100% de la cantidad de muestra inicial. La fibra dietaria está relacionada con la capacidad de interactuar con otros componentes del proceso digestivo, como las bacterias, las cuales podrían verse beneficiadas por la presencia de la fibra dietaria produciendo metabolitos secundarios de interés en la salud humana. Se ha establecido que la fracción insoluble se relaciona con la capacidad de hidratarse, al mismo tiempo en que ejerce efecto benéfico relacionado principalmente con la disminución de cáncer de colon, pues actúa como un medio de eliminación de desechos adheridos a la pared intestinal.

Tabla 18. Fibra soluble en pectina cítrica y pectina de mango.

Pectina	Fracción	Azúcares neutros	Ácidos urónicos	Subtotal
Tommy	Cáscara	49.92 ± 2.52	17.31 ± 0.29	67.23
	Pulpa	54.15 ± 0.13	16.59 ± 0.49	70.74
Kent	Cáscara	48.21 ± 0.08	23.35 ± 1.47	71.56
	Pulpa	32.14 ± 0.73	39.81 ± 1.46	71.95
Keitt	Cáscara	28.44 ± 0.18	24.07 ± 2.06	52.51
	Pulpa	34.12 ± 1.35	42.86 ± 2.89	76.98
Oro	Cáscara	53.82 ± 3.87	14.37 ± 0.85	68.19
	Pulpa	48.19 ± 1.41	30.24 ± 1.12	78.43
Irwin	Cáscara	52.17 ± 0.37	11.06 ± 2.84	63.23
	Pulpa	35.21 ± 0.11	35.54 ± 3.78	70.75
Haden	Cáscara	34.71 ± 1.48	23.67 ± 1.66	58.38
	Pulpa	45.25 ± 0.62	19.28 ± 0.87	64.53
Cítrica		38.83 ± 4.89	33.12 ± 1.21	71.95

Según Escudero y González (2006), la fibra dietaria forma parte de lo que se considera una dieta saludable. No existe todavía una definición única que englobe los distintos componentes de la fibra dietética y sus funciones. Los factores mayoritarios de la fibra son los hidratos de carbono complejos y la lignina, aunque nuevos productos pueden ser, incluidos en el concepto de fibra. La fibra dietaria alcanza el intestino grueso y son atacadas por la microflora colónica, dando como productos de fermentación ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno, dióxido de carbono y metano. Los ácidos grasos de cadena corta representan no solo una forma de recuperar energía, sino que van a estar implicados en otras funciones beneficiosas para el organismo humano. Aunque no existen todavía datos concluyentes sobre la recomendación de los distintos tipos de fibra, sigue siendo

adecuado indicar una dieta que aporte de 20-35 g/día de fibra de diferentes fuentes. Hay pocos datos concluyentes, todavía, acerca del beneficio de la fibra en la prevención del cáncer colorrectal y la enfermedad cardiovascular. Pero una ingesta rica en fibra es recomendable desde los primeros años de la vida, ya que a menudo va acompañada de un estilo de vida que a largo plazo ayuda a controlar otros factores de riesgo. Como se observa en las Tablas 18 y 19, los carbohidratos son los principales componentes de la fibra dietaria, además de algunas fracciones de lignina Klason.

Tabla 19. Fibra insoluble en pectina cítrica y pectina de mango.

Pectina	Fracción	Azúcares neutros	Ácidos urónicos	Lignina Klason	Subtotal
Tommy	Cáscara	18.93 ± 1.59	6.17 ± 0.03	2.21 ± 0.35	27.31
	Pulpa	14.12 ± 0.5	7.74 ± 0.8	1.02 ± 0.31	22.88
Kent	Cáscara	9.07 ± 0.3	15.67 ± 0.57	1.92 ± 0.7	26.66
	Pulpa	12.92 ± 1.12	9.34 ± 2.81	1.83 ± 0.15	24.09
Keitt	Cáscara	12.22 ± 2.3	23.73 ± 1.78	5.41 ± 0.88	41.36
	Pulpa	8.96 ± 1.2	6.65 ± 1.56	3.56 ± 0.72	19.17
Oro	Cáscara	12.15 ± 1.93	13.81 ± 1.27	3.76 ± 0.91	29.72
	Pulpa	6.48 ± 0.93	9.12 ± 0.25	2.1 ± 0.07	17.7
Irwin	Cáscara	7.95 ± 0.44	19.92 ± 0.86	6.12 ± 1.6	33.99
	Pulpa	12.21 ± 0.13	11.49 ± 2.64	2.98 ± 0.36	26.68
Haden	Cáscara	21.02 ± 0.71	15.31 ± 0.42	3.83 ± 0.16	40.16
	Pulpa	16.37 ± 0.81	12.2 ± 1.72	2.08 ± 0.66	30.65
Cítrica		15.13 ± 1.22	9.11 ± 0.92	1.5 ± 0.7	25.74

### 7.10.2. Capacidad de retención de agua

En la Tabla 20 se reporta la cantidad de agua retenida por cada una de las pectina estudiadas, puede notarse que a partir de un gramo de muestra se pudo retener

hasta 8 veces más la cantidad de agua (en el proceso experimental se utilizó un gramo de muestra inicial).

Tabla 20. Capacidad de retención de agua en muestras de pectina.

Muestra	Variedad	Agua retenida (g)
Pectina cítrica		6.899 ± 0.61
Pectina de cáscara	Tommy	8.753 ± 1.23
	Oro	7.534 ± 0.98
	Keitt	9.345 ± 0.56
	Kent	6.720 ± 0.59
	Irwin	7.349 ± 0.67
	Haden	8.561 ± 0.87
Pectina de pulpa	Tommy	5.234 ± 0.74
	Oro	4.359 ± 0.45
	Keitt	6.429 ± 1.24
	Kent	6.585 ± 0.76
	Irwin	7.218 ± 0.83
	Haden	6.480 ± 0.51

Se puede ver que los valores más altos correspondieron a la pectina extraída de cáscara, llegando hasta un 934 %, mientras que para la pectina cítrica se observa 689% y para la pectina de pulpa no fue más allá de 721%. La pectina de cáscara presentó mayor capacidad de retención de agua comparado con las demás muestras. Esta capacidad de retención de agua otorga lo que se conoce como propiedades funcionales, que son propiedades físico-químicas que contribuyen a la estabilidad y mejora de las características sensoriales de un producto, ya sea un alimento, un cosmético o una aplicación farmacéutica y que generalmente conduce a la percepción de una calidad superior por parte del consumidor. Son ejemplos de propiedades funcionales, la hidratación, la retención de agua, la formación de geles, el espumado y la emulsión, entre otras. Las propiedades funcionales están relacionadas con las propiedades físicas, químicas y estructurales intrínsecas de las proteínas, incluyendo tamaño, forma, composición y secuencia de aminoácidos, carga neta y distribución de las cargas y relación hidrofobicidad/hidrofiliidad.

### 7.10.3. Capacidad de retención de aceite

Los resultados de la capacidad de retención de aceite se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21 Capacidad de retención de aceite en muestras de pectina.

Muestra	Variedad	Aceite retenido (g)
Pectina cítrica		1.228 ± 0.54
Pectina de cáscara	Tommy	1.342 ± 0.37
	Oro	0.981 ± 0.32
	Keitt	1.234 ± 0.56
	Kent	1.556 ± 0.80
	Irwin	1.451 ± 0.92
	Haden	1.371 ± 0.34
Pectina de pulpa	Tommy	1.350 ± 0.71
	Oro	1.101 ± 0.45
	Keitt	1.213 ± 0.65
	Kent	1.380 ± 0.34
	Irwin	1.978 ± 0.72
	Haden	1.760 ± 0.87

La pectina es poco soluble en compuestos lipídicos, por ello la retención de aceite osciló entre el 98% para la pectina de cáscara de mango Oro y un 197% para pectina de pulpa Irwin. Lo que indica que el aceite no fue retenido en cantidades importante en comparación a lo que ocurrió para la capacidad de retención de agua. La capacidad de retención de aceite está relacionada con la hidrofobicidad de la estructura molecular. Se ha reportado que la mayor parte de la fracción hidrofílica en una pectina se debe a la presencia de la cadena principal del ácido galacturónico, mientras que la fracción hidrofóbica podría estar asociada con la presencia de los grupos acetilo y en menor efecto al grado de metoxilación. Pese a lo anterior se puede mencionar que existe cierto grado de hidrofobicidad en las muestras analizadas y esto podría indicar efecto sobre las propiedades funcionales, como la que se produce en una emulsión. Se sabe que para que una emulsión sea estable deben existir fracciones polares y no polares dentro de una misma molécula para que ésta pueda servir como puente de unión entre las dos fases inmiscibles entre sí, pero que pudieran estar estabilizadas por una molécula como podría ocurrir con la presencia de la pectina.



#### 7.10.4. Propiedad emulsificante

Se desarrollaron emulsiones a partir de pectina extraída de la cáscara y de la pulpa de mango (Figura 36), los datos fueron comparados con la pectina cítrica y goma arábica, ya que este último ha sido considerado como el polisacárido emulsificante natural de mayor uso a nivel industrial.

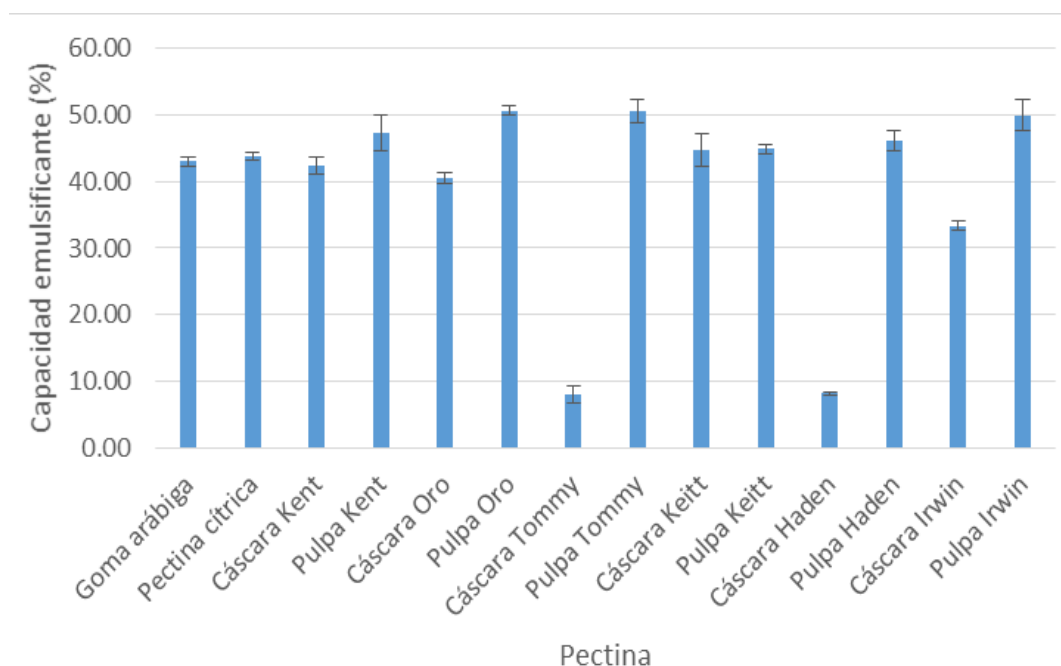


Figura 36. Capacidad emulsificante en pectina de cáscara y pulpa de mango.

Puede observarse que casi todas las muestras presentan actividad emulsificante, pero la pectina a partir de cáscara de mango Tommy Atkins y la de cáscara de mango Haden presentan muy baja capacidad con respecto a las otras muestras. Cabe señalar que la pectina extraída a partir de pulpa de mango Oro y Tommy Atkins poseen mayor capacidad emulsificante, incluso mayor que la goma arábica.

Se evaluó la estabilidad de las emulsiones preparadas usando pectina de mango, pectina cítrica y goma arábica. Como se observa en la Figura 37, a pesar de que la pectina extraída de cáscara presenta alta capacidad emulsificante, éstas presentan muy baja estabilidad. Sin embargo, para el caso de pectina extraída de la pulpa de mango se pueden apreciar excelentes cualidades para la capacidad y estabilidad de

las emulsiones, en algunos casos la estabilidad incluso fue superior a lo que se obtuvo para la pectina cítrica y la goma arábica.

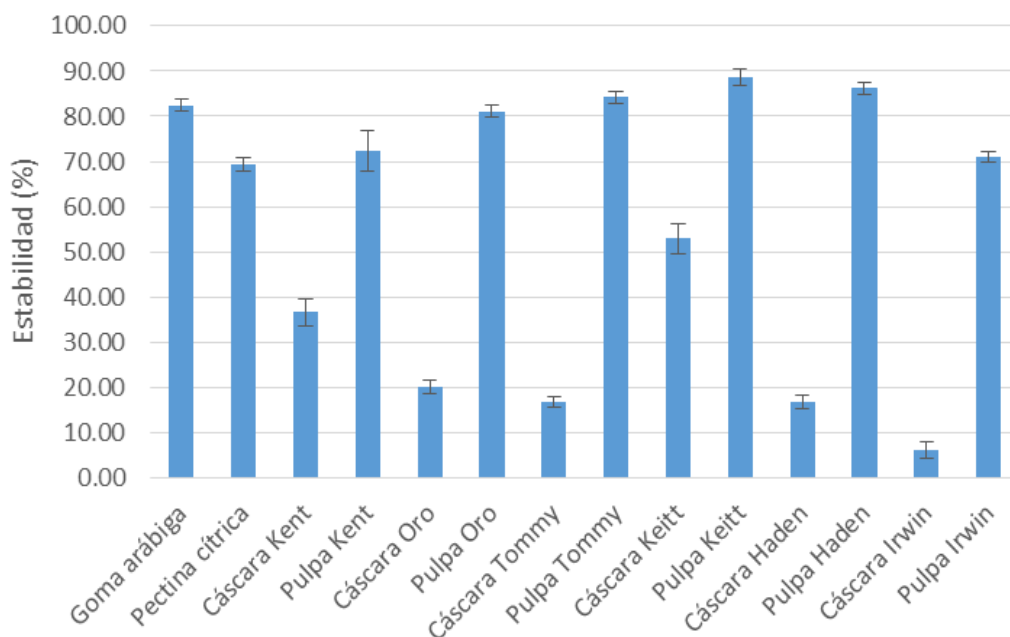


Figura 37. Estabilidad emulsificante en pectina de cáscara y pulpa de mango.

Es necesario mencionar que la pectina de pulpa de mango Tommy Atkins, Keitt y Haden presentaron la mayor estabilidad emulsificante y también presentaron alta capacidad emulsificante, por lo que estas pectinas pueden ser consideradas como aditivos con alta propiedad emulsificante, con resultados superiores a la pectina cítrica. Algunas investigaciones reportan que la pectina puede poseer pequeñas fracciones de proteínas, lo que lo hace emulsificar en presencia de sustancias no polares (Williams *et al.*, 2005).

La prueba acelerada de la Figura 34 sentó las bases para seleccionar las muestras que tendrían una mejor estabilidad al ser incorporadas a un alimento, por ello se seleccionaron pectinas de pulpa de mango de las variedades Tommy Atkins, Keitt, Haden y como referencia se usó la pectina cítrica y goma arábica. Aunque la prueba acelerada da una idea de la duración de las emulsiones ante condiciones mecánicas, las pruebas bajo condiciones de vida de anaquel simulan el comportamiento de un producto en almacenamiento a temperatura ambiente (Figura 38).

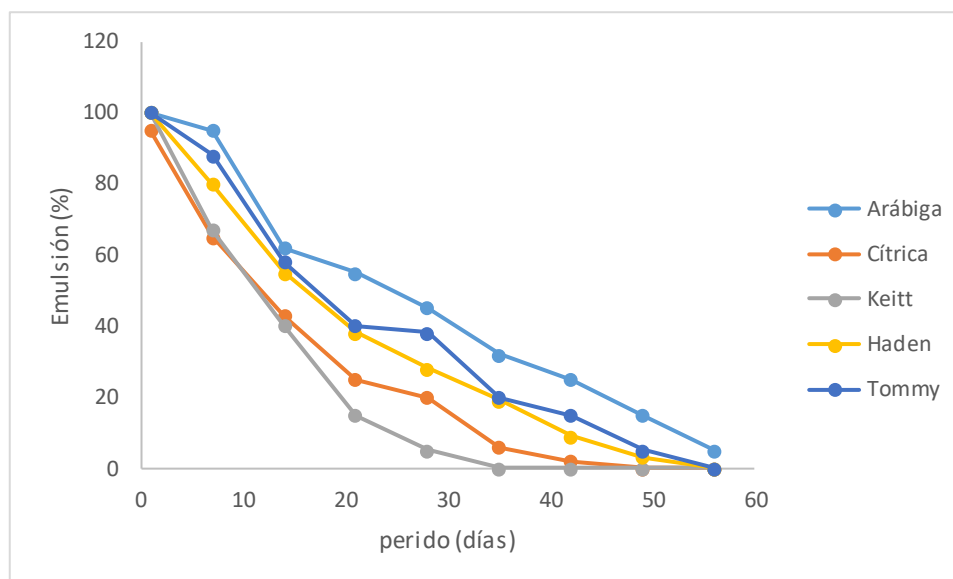


Figura 38. Estabilidad de emulsiones para tres variedades de pectina de mango seleccionadas.

Todas las emulsiones experimentaron descenso en el volumen de la capa emulsionada, para el día 35 la pectina de pulpa de mango Keitt tiende a cero, mientras que la cítrica aún muestra un 20 % de emulsión. Conforme pasaron los días la mayoría de las emulsiones tendieron hacia la separación de fases. En todo momento la emulsión preparada con goma arábica se mostró por arriba de las demás muestras, pero es importante señalar que la pectina de pulpa de mango Tommy Atkins y Haden fueron las que permanecieron por más tiempo comparada con sus homólogas extraídas de mango. No existe literatura para comparar estos datos, sin embargo Akhtar *et al* (2001) realizó una prueba similar en la que a lo largo de 50 días reporta haber encontrado aumento del tamaño de partículas, situación que la desestabiliza y ocasiona separación de fases de la emulsión.

### 7.11. Selección de una variedad con base en su propiedad emulsificante

A partir de la Figura 36, 37 y 38, se seleccionó la pectina de pulpa de mango Tommy Atkins como la pectina que presentó la mejor capacidad y estabilidad emulsificante. Por lo anterior, esta se tomó como la muestra ideal para estudiar más a fondo sus características. Por un lado, se estudiaron sus características con base en lapropiedad funcional, para lo cual en primer lugar se realizó un estudio de

comportamiento al flujo utilizando una mayor diversidad de concentraciones, posteriormente se prepararon emulsiones y finalmente se analizó el tamaño de partícula en las emulsiones obtenidas como consecuencia del tipo de polisacárido y de las condiciones de elaboración de las emulsiones.

#### **7.12.1. Comportamiento al flujo de pectina de pulpa de mango Tommy Atkins.**

Las dispersiones de pectina a bajas concentraciones mostraron un comportamiento aparentemente lineal (Figura 39a) y la viscosidad aparente ( $\eta$ ) aumentó en función de la concentración. Se sabe que las soluciones diluidas de pectina presentan moléculas distribuidas libremente en el seno del fluido, ocasionando solo un ligero aumento de la viscosidad (Chan 2017). Mierczynska et al. (2017) para soluciones al 2 % de pectina de grosella negra, frambuesa, fresa, zanahoria, melocotón y ciruela italiana reportan una viscosidad de 11, 15, 36, 38, 73 y 86 mPa.s, respectivamente. En este trabajo a esa misma concentración para PPM (pectina de pulpa de mango) se determinó una viscosidad de 179 mPa.s, valor superior a lo que se ha reportado para otros frutos y a lo que se determinó en PCC (pectina cítrica comercial), que fue de 23.58 mPa.s. De acuerdo a la Tabla 22, a una concentración del 3.0 % se reportan 491.2 mPa.s para PPM, un valor superior casi seis veces al obtenido para PCC (82.05 mPa.s). Este patrón de comportamiento fue similar para dispersiones al 2 y 2.5 % (Figura 40), encontrando que para cada concentración estudiada PPM siempre presentó un mayor aumento de la viscosidad. Iagher et al.(2002) utilizaron una mezcla de pulpa de distintas variedades de mango (Bourbon, Tommy Atkins, Espada y Coquinho), realizaron un fraccionamiento por centrifugación (30000 G, 15 min, 25°C; 22000G, 4 h, 25°C; 30000G, 2 h, 4°C), filtración (3, 0.8, 0.45  $\mu$ m) y lavados con etanol (70, 80, 85, 90, 95, 100 %); obtuvieron una fracción rica en pectinas y reportan que para dispersiones al 3 % adicionadas con NaCl (10 mM) fue posible obtener una viscosidad de 6000 mPa.s, lo cual indica que la pulpa de mango puede ser una fuente potencial para extraer polisacáridos de alta viscosidad.

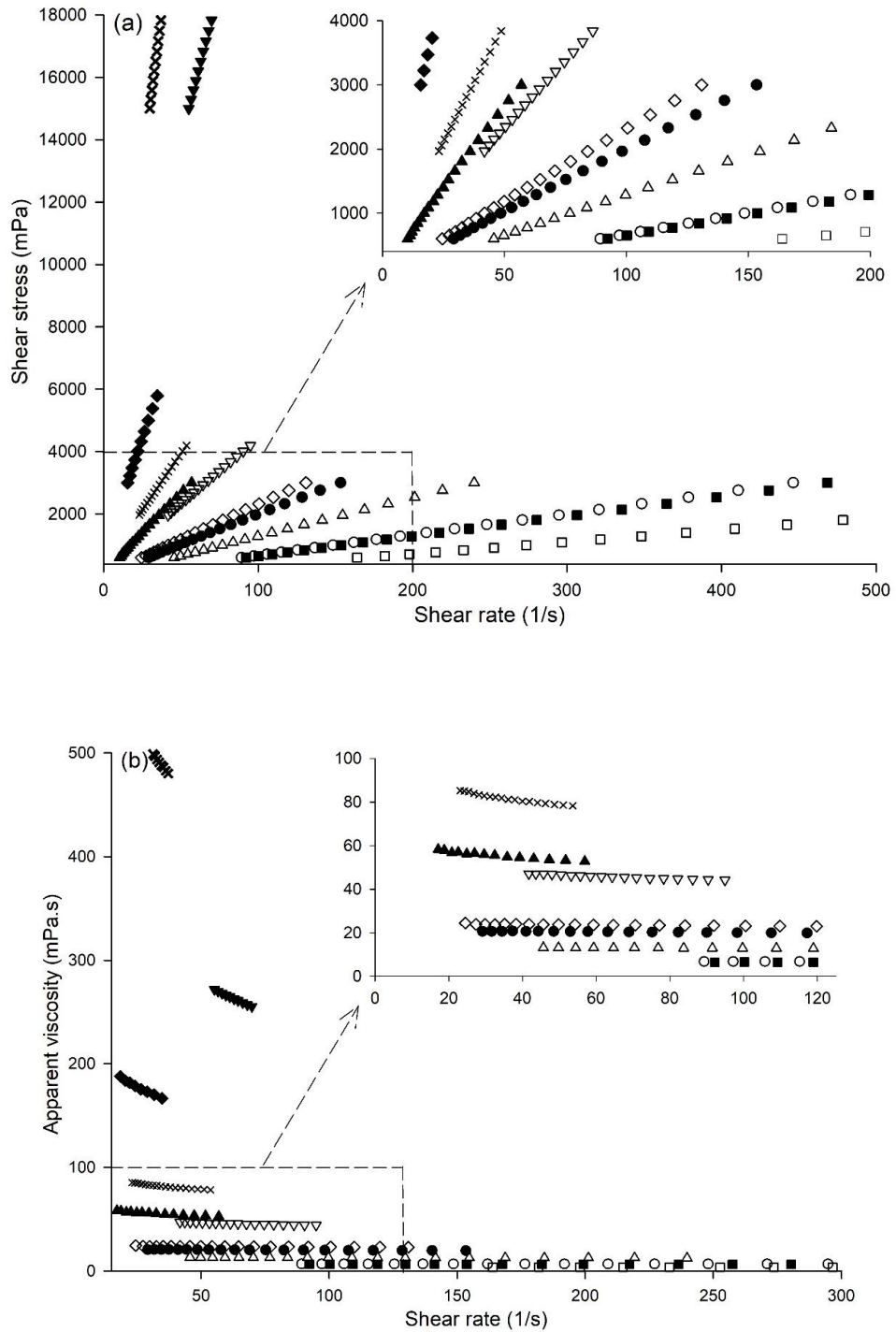


Figura 39. a) Comportamiento al flujo de dispersiones de pectina de pulpa de mango Tommy Atkins (PPM) y pectina cítrica comercial (PCC) b) Viscosidad aparente en dispersiones de PPM y PCC. Los símbolos y el porcentaje de las concentraciones son las que se indican a continuación: PPM ■ 0.5, ◆ 1.0, ▲ 1.5, ◆ 2.0, ▼ 2.5, x 3.0, y PCC: □ 0.5, ◇ 1.0, △ 1.5, ◇ 2.0, ▽ 2.5, x 3.0

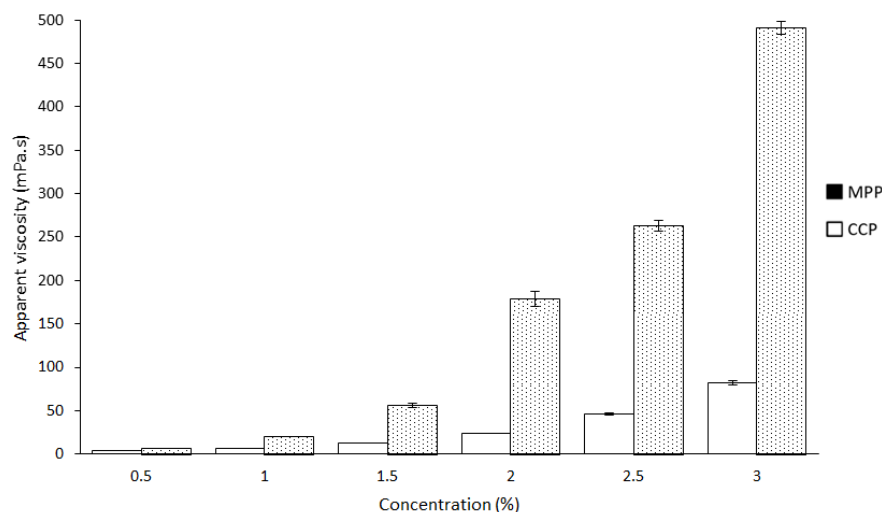


Figura 40. Comportamiento de la viscosidad en dispersiones de PPM y de PCC en función de la concentración.

De acuerdo a la Figura 39 (b), en las dispersiones de PPM al 2, 2.5 y 3.0 % se observó un decremento de la viscosidad en función del aumento de la velocidad de corte y las curvas presentaron una pendiente negativa. El efecto adelgazante a alta velocidad de corte se puede deber a que el esfuerzo aplicado ocasiona una interrupción física de la interacción entre las moléculas, pues no tienen libertad de movimiento individual en soluciones concentradas (Hosseini et al 2016, Methacanon et al 2014, Sousa et al 2015).

La viscosidad de las pectinas depende de las características químicas de la molécula, un alto peso molecular con ramificaciones en su estructura puede generar soluciones de alta viscosidad; estas ramificaciones pueden generar interacción entre ellas, contribuyendo a un mayor efecto viscoso (Chan et al 2017, Hosseini et al 2016, Methacanon et al 2014, Sousa et al 2015). De acuerdo a la Tabla 22, el índice de consistencia ( $K$ ) se incrementó de manera directa con la viscosidad aparente, tal como se ha reportado por algunos autores (Mierczynska et al 2016, Nascimento et al 2016). El índice de comportamiento ( $n$ ) mostró una relación inversa con respecto a  $K$  y  $\eta$ , presentando valores cercanos a la unidad en concentraciones diluidas (0.5 y 1.0 %) para ambas pectinas. A mayor concentración de pectina en las dispersiones hubo un descenso del valor de  $n$ , cuando se trabajó al 3 % se obtuvo 0.785 para PPM y

0.896 para PCC. Esto indica que con bajos valores de  $n$  las dispersiones presentan un mejor comportamiento pseudoplástico, tal como se ha reportado por algunos autores (Mierczynska et al 2017, Sousa et al 2015, Nascimento et al 2016).

Tabla 22. Parámetros reológicos de la ecuación de Ostwald de Waele en dispersiones de pectina de pulpa de mango Tommy Atkins y en pectina cítrica comercial.

Muestra	Concentración (%)	$\eta$ (mPa.s)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n (-)	$\alpha$ (-)	R <sup>2</sup> (-)
PPM	0.5	6.45 ± 0.04	0.007 ± 0.000	0.986 ± 0.000	0.023 ± 0.001	0.999
	1.0	20.25 ± 0.37	0.023 ± 0.001	0.966 ± 0.012	0.058 ± 0.009	0.999
	1.5	56.42 ± 2.09	0.070 ± 0.001	0.933 ± 0.007	0.432 ± 0.003	0.999
	2.0	179.0 ± 8.46	0.316 ± 0.022	0.820 ± 0.016	1.622 ± 0.016	0.999
	2.5	263.2 ± 5.63	0.736 ± 0.131	0.797 ± 0.044	3.405 ± 0.177	0.999
	3.0	491.6 ± 7.66	1.045 ± 0.105	0.785 ± 0.025	3.679 ± 0.047	0.999
PCC	0.5	3.76 ± 0.18	0.002 ± 0.000	1.009 ± 0.038	0.008 ± 0.000	0.998
	1.0	6.69 ± 0.02	0.007 ± 0.000	0.997 ± 0.011	0.028 ± 0.001	0.999
	1.5	12.85 ± 0.19	0.015 ± 0.008	0.971 ± 0.011	0.066 ± 0.016	0.999
	2.0	23.58 ± 0.39	0.027 ± 0.001	0.970 ± 0.007	0.394 ± 0.005	0.999
	2.5	45.89 ± 1.05	0.064 ± 0.005	0.921 ± 0.021	1.364 ± 0.020	0.999
	3.0	82.05 ± 2.52	0.118 ± 0.008	0.896 ± 0.017	1.428 ± 0.012	0.999

PPM: Pectina de pulpa de mango, PCC: Pectina cítrica comercial,  $\eta$ : viscosidad aparente, K: coeficiente de consistencia, n: índice de comportamiento al flujo,  $\alpha$ : índice de tixotropía, R<sup>2</sup>: coeficiente de regresión.

El índice de tixotropía ( $\alpha$ ) adquirió valores en un intervalo de 0.023 a 3.67 para PPM y de 0.008 a 1.42 para PCC, notando que se incrementa en función de la

concentración. Benchabane y Bekkour (2008) reportan bajas tixotropías (0.5) para soluciones al 1 % de CMC, incrementándose (3.6) en soluciones al 3 %. Sovilj et al.(2013) obtuvieron altas tixotropías (17.6 a 114.4) para geles de gelatina. Las pectinas estudiadas en este trabajo pueden asumirse como de baja tixotropía, lo que puede implicar que estas moléculas presentaron una alta estabilidad por la interacción entre ellas. Chang et al. (2017) adicionaron pectina en la formulación de mayonesas e indican que este polímero ayudó a disminuir la tixotropía debido a la formación de una “red de caja de huevo”, que le confirió mayor estabilidad. En un material tixotrópico hay disminución de la viscosidad por la ruptura de los enlaces entre las moléculas sometidas a un esfuerzo, al cesar el esfuerzo las moléculas vuelven a interactuar entre ellas recuperando la viscosidad inicial (Benchabane et al 2008).Un material con alta tixotropía fluye más rápido a medida que el esfuerzo aplicado modifica la interacción molecular, facilitando operaciones de proceso como la agitación y el bombeo (Barboza et al 2016). Los fluidos analizados se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele, con una correlación ( $R^2$ ) mayor a 0.998 para todas las concentraciones estudiadas, por lo que este modelo describió adecuadamente a las dispersiones estudiadas.

### **7.12.2. Optimización para la obtención de emulsiones**

Como resultado de la optimización del proceso para la obtención de las emulsiones se obtuvieron superficies de respuesta que se pueden ver en la Figura 41, en la cual se puede observar que la capacidad emulsificante estuvo directamente relacionada con la velocidad de agitación, el pH y el polisacárido utilizado. Se puede observar que un bajo pH y alta velocidad de agitación favoreció la formación de emulsiones para la pectina de pulpa de mango, mientras que a esas mismas condiciones la pectina cítrica comercial mostró resultados inferiores en la emulsificación. Es importante mencionar que la goma arábica no se ve favorecida por pH bajo pero a diferencia de las pectinas, la goma arábica presenta mejor potencial emulsificante a pH neutro. En todos los casos la velocidad de 15000 rpm ocasionó mayor formación de emulsiones debido a que se favorece una alta interacción entre las dos fases por



el aumento del área de contacto en presencia del estabilizante, que en este caso es la presencia de alguno de los polisacáridos empleados.

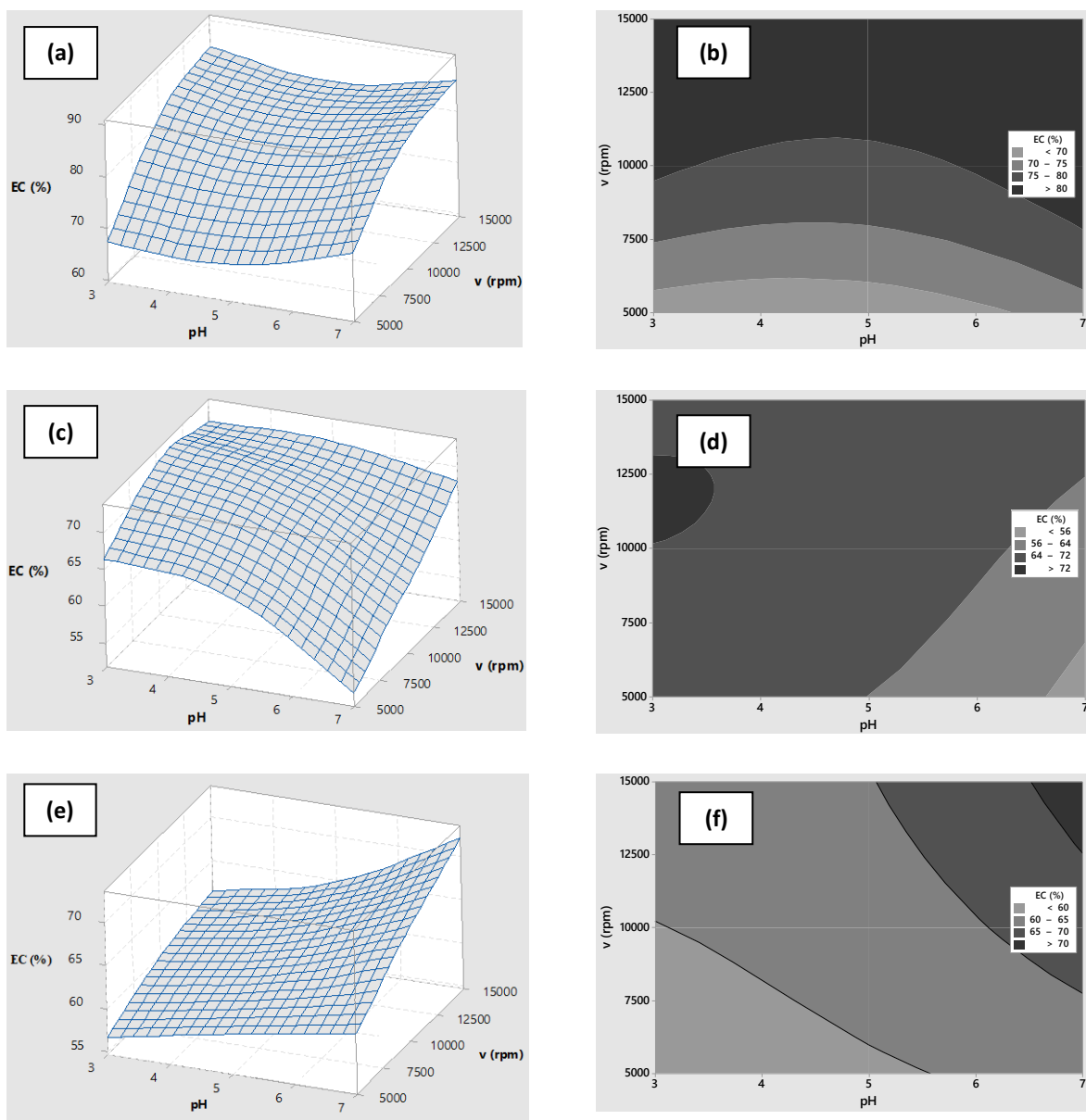


Figura 41. Capacidad emulsificante en MPP (a, b), PCC (c, d) y GA (e, f). Gráficas de superficie de respuesta (a, c, e) y de contorno (b, d, f) desarrolladas a diferente pH (3, 5, 7) y diferente velocidad de agitación (5000, 10000, 15000 rpm).

La capacidad emulsificante es la propiedad que permite la formación de emulsiones, mientras que la estabilidad se refiere a la habilidad para que las gotas sean estables

después de haber sido emulsionadas (Liang et al 2015). De acuerdo con la Figura 41, PPM presentó mejor capacidad emulsificante (50.67 %) que PCC (44 %) y AG (43 %). Se determinó mayor estabilidad emulsificante en PPM (permaneció emulsificado el 84 % de la capa inicial), muy cercana a la de goma arábica (82.35 %) y fue notable la disminución del volumen de la capa emulsificada de PCC (solo permaneció emulsificado el 69.38 % de la capa inicial). La propiedad emulsificante de las pectinas está asociada en primer lugar a las fracciones de proteínas (se necesita por lo menos un 3 % de proteínas) y a la presencia de ácido ferúlico, generándose en ocasiones un efecto sinérgico entre estos dos componentes (Alba et al 2017). Una alta acetilación (más del 10 %) mejora la propiedad emulsificante aún sin la presencia de proteínas (Alba et al 2017). Es posible que PPM mejoró sus propiedades emulsificantes debido a que presentó mayor cantidad de proteínas (Tabla 10) y alta viscosidad (Figura 40). Se ha reportado que la estabilidad de una emulsión se ve favorecida cuando la fase continua presenta mayor viscosidad (Liang et al 2015) ya que ésta podría reducir la coalescencia y la floculación de las gotas. Se puede asumir que la capacidad y estabilidad emulsificante de PPM está relacionada con su composición química, su peso y estructura molecular. Es posible que PPM puede tener moléculas más largas, ramificadas y con fracciones de proteínas, lo que la convierte en un biopolímero con alto potencial para ser utilizado como agente emulsificante.

### **7.12.3. Microscopía de las emulsiones.**

Para la pectina de pulpa de mango las mejores condiciones de emulsificación fueron las de 15000 rpm y pH de 3, por lo anterior se seleccionaron estas condiciones para realizar microscopía de las emulsiones como se observa en la Figura 42. Se puede apreciar que la propiedad emulsificante está relacionada directamente con el tamaño de partículas. Las emulsiones de pectina de mango y las de goma arábica presentaron partículas de menor tamaño, menores a 10 micras, mientras que en la pectina cítrica los glóbulos tuvieron tamaños superiores a las 10 micras bajo las mismas condiciones de elaboración. Hasta este punto, una emulsión recién preparada no mostró diferencias aparentes.

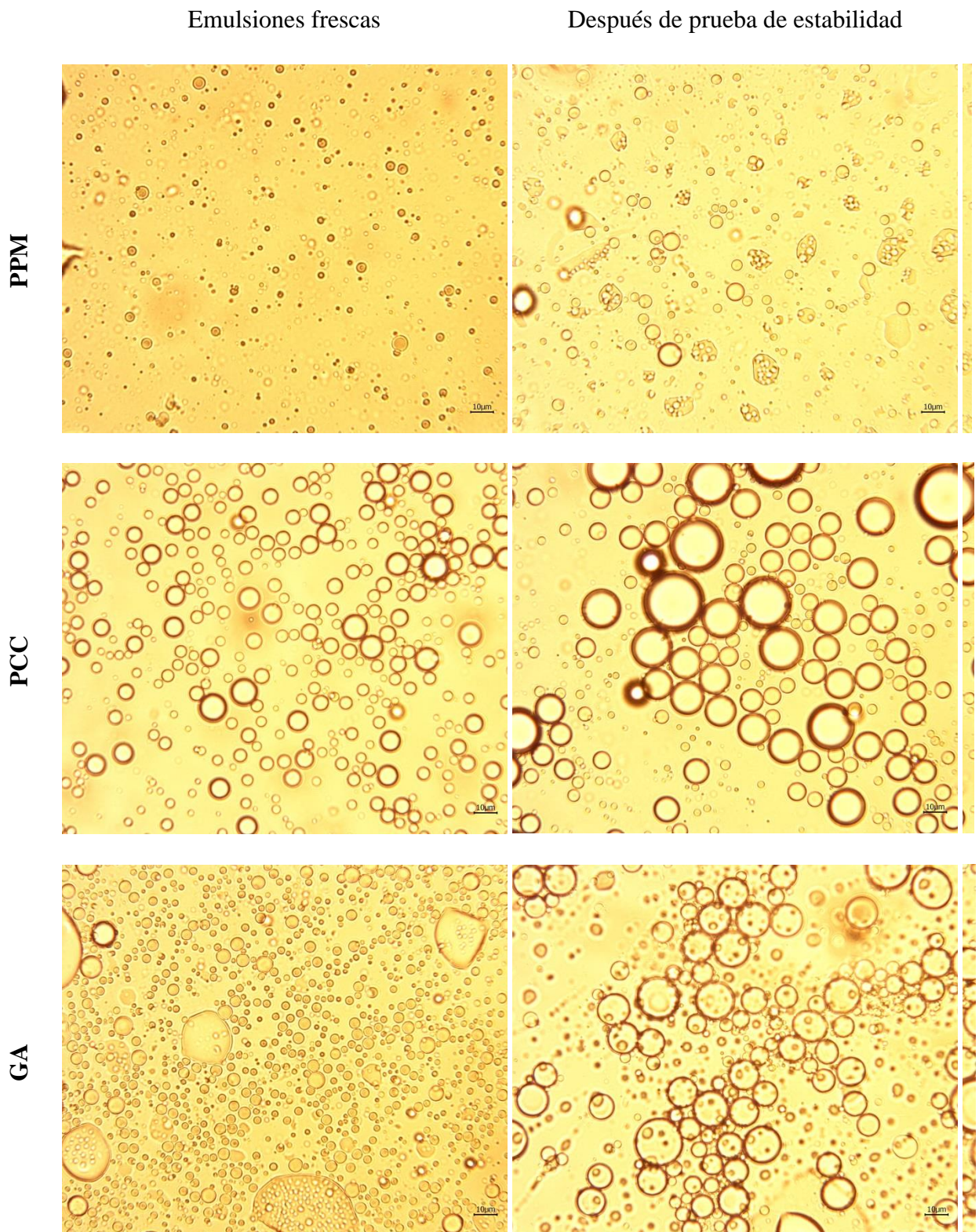


Figura 42. Micrografías de las emulsiones de PPM antes y después de la prueba de estabilidad en comparación con PCC y GA.

Sin embargo, al ser sometidas a la prueba de estabilidad, los glóbulos empezaron a fusionarse mediante los fenómenos de coalescencia y agregado. Por lo anterior, en el caso de la pectina cítrica y la goma arábica mostraron glóbulos de un mayor tamaño de partícula debido a la fusión entre éstas. En el caso de la pectina de mango, aunque hubo coalescencia de partículas esta fue inferior a lo que se encontró para las otras dos gomas. Es importante mencionar que hubo formación de agregados sin que éstos llegaran a fusionarse entre sí. Estas características indican que la pectina de mango tuvo una mejor interacción entre las fases inmiscibles, posiblemente se debe a que en primer lugar presentó un alto contenido de proteínas (Tabla 10), pero también una alta capacidad de retención de aceite (Tabla 11), la alta pureza de la pectina de pulpa de mango (Figura 18) hace evidente que existió una mejor conformación de la estructura del ácido galacturónico. Es bien sabido que en el caso de las pectinas, las propiedades emulsificantes se deben a la alta acetilación, pero algunos autores indican que esta puede deberse también a la presencia de proteínas aunque se tenga baja acetilación. Además, una alta viscosidad funciona como un medio que impide que los glóbulos formados interactúen entre sí. De acuerdo a la Figura 40 y a la Tabla 22, la pectina de pulpa de mango presenta mejor viscosidad para una misma concentración. Por lo anterior, se puede afirmar que las características químicas de la molécula de pectina permiten una mejor capacidad y estabilidad emulsificante en comparación con la pectina cítrica. Todo esto indica que a partir de la pulpa de mango es posible extraer pectinas de alta viscosidad cuyas aplicaciones podrían verse relacionados con la estabilidad, tal y como ocurre con las emulsiones.

# CONCLUSIONES

## 8. CONCLUSIONES

- La variedad del mango Indostano Keitt genera mayores cantidades de subproductos (más del 27%), del cual la cáscara representa la mayor cantidad (17%).
- Se extrajo mayor cantidad de pectina en la cáscara que en la pulpa.
- En las variedades Tommy Atkins, Kent y Oro se obtuvo la mayor cantidad de pectina con respecto a las demás.
- Se obtuvieron pectinas de alto metoxilo y baja acetilación, con pureza que varió en función de la materia prima utilizada.
- En todas las muestras estudiadas fue posible identificar la región de la huella digital, por lo que el método de extracción fue el adecuado para lograr extraer pectinas.
- Las muestras de pectina de mango presentaron mayor resistencia a la degradación térmica, comparados con la pectina cítrica comercial.
- Para todas las muestras, aquellas que fueron obtenidas a partir de la pulpa presentaron una mayor viscosidad y mayor cantidad de proteínas en comparación con las que se extrajeron de la cáscara.
- En todas las muestras se presentó un comportamiento al flujo de tipo pseudoplástico, el cual se incrementó directamente al aumentar la concentración de las dispersiones.
- La pectina de mango presenta muy buena capacidad emulsificante, sin embargo, la pectina de pulpa de mango Tommy Atkins fue la que presentó mayor estabilidad, siendo superior a la pectina cítrica.
- La propiedad emulsificante de la pulpa de mango Tommy Atkins está relacionada con un mejor tamaño de partícula debido a su alta viscosidad.
- A partir de la pulpa de mango Tommy Atkins es posible obtener una pectina con excelentes cualidades para ser aplicada en sistemas que necesiten estabilidad al ser emulsificados.

# RECOMENDACIONES

## 9. RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores se recomienda:

- 1.- Estudiar la estructura de la pectina en polvo mediante microscopía y análisis fractal, ya que podría estar correlacionada con sus características físicas y químicas.
- 2.- Realizar estudios de densidad aparente y pruebas de compactación de la pectina en polvo para proponer aplicaciones en productos secos.
- 3.- Realizar estudios de composición molecular mediante cromatografía de gases para contribuir a tener mejores elementos de las características químicas de la molécula, basada en su composición.
- 4.- Durante la preparación de algunas dispersiones fue posible visualizar la formación de espuma en algunas pectinas, por lo anterior sería deseable realizar estudios de capacidad espumante, ya que podría brindar otra área de oportunidad de las pectinas en estudio.
- 5.- Para una mejor comparación con respecto a las pectinas comerciales y a las nuevas fuentes de extracción de pectina se propone que se preparen geles de pectina y se les realicen estudios de viscoelasticidad, ya que podría contribuir a elucidar de mejor manera la estructura molecular.
- 6.- Es deseable realizar extracción de pectina de frutos de mango enteros, sin realizar la separación de cada una de las fracciones y comparar sus características con las extraídas mediante el aislamiento de las fracciones. De esta manera se estarían sentando las bases para realizar la extracción industrial, optimizando las operaciones unitarias en la extracción.



# BIBLIOGRAFIA

## 10. BIBLIOGRAFIA

AOAC. 1995. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Inc. Washington. E. U.

Ajila C. M., Bhat S. G. y Rao U.J.S.P. 2007. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. Food Chemistry. 102: 1006-1011.

Assous M. T. M., El-Wahab A. E. S. y El-Waseif K. H. M. 2007. Effect of microwave power on quality parameter of pectin extracted from mango peel. Arab University Journal Agricultural Science. 15: 395-403.

Axelos y Thibault. 1991. The chemistry of low-methoxyl pectin gelation. The chemistry and technology of pectins. 109-118

Barazarte H., Sangronis E. y Unai E. 2008. La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente comercial de pectinas. Archivos latinoamericanos de nutrición. 58 (1): 64-70

Bernardini N., Knodler M., Schieber A. y Carle R. 2005. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 6:442-452.

Blumenkrants N. y Asboe-Hansen G. 1973. New method for quantitative determination of uronic acids. Analytical biochemistry. 54: 484-489.

Devlin T. M. 2006. Bioquímica, cuarta edición. Editorial Reverté. España.

Dubois M., Gills K. A., Hamilton J. K. Rebers P. A. y Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Analytical chemistry. 28 (3): 350-356.

FAO 2008. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. Production índices. [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org) (consultado en febrero de 2011).

Fennema O. R. 2000. Química de los alimentos. Tercera edición. Editorial acribia. España.

Financiera Rural, 2010. Monografía del mango. Información Sector Rural. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégico y Análisis Sectorial. Con la colaboración de SIAP-SAGARPA, INEGI y Secretaría de Economía. [www.financierarural.gob.mx](http://www.financierarural.gob.mx) (consultado en febrero de 2011).

Gierselmer K. 1997. Pectin and pectin enzymes in fruit. *Vegetables technology*.118: 171-185.

Goycoolea F. M. y Cárdenas A. 2003. Pectins from *Opuntia* spp. A short review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 5: 17-29

lagher F., Reicher F. y Ganter J.L.M.S. 2002. Structural and rheological properties of polysaccharides from mango (*Manguifera indica* L.) pulp. *International journal of biological macromolecules*. 31: 9-17.

Kansci, G., Koubala, B.B. y Lape, M. I. 2008. Effect of ripening on the composition and the suitability for jam processing of different varieties of mango (*Mangifera indica* L.). *African Journal of Biotechnology*. 2, 301-306.

Kertesz Z. I. 1951. *The pectic substances*. Interscience publishers. USA. 628.

Koubala B. B., Kansci G., Garnier C., Mbone I. L., Durand S., Thibault J. F. y Ralet M. C. 2008. Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectin from “Amelioree” and “Mango” mango peels. *Food Hydrocolloids*. 22: 1345-1351.

Kratchanova, M., Benemou, C. y Kractchanova, C. 1991. On the pectic substances of mango fruits. *Crabohidrate polymers*. 34, 507-599.

Larraurri J. A., Ruperez P., Borroto B. y Saura-Calixto F. 1996. Mango peles as a new tropical fibre: Preparation and characterization. *Food science and technology*. 29 (8): 729-733

Lehninger A. L. 1979. Bioquímica, las bases moleculares de la estructura y función celular. Segunda edición. Ediciones Omega. España.

Levigne S., Ralet M. C. y Thibault J. F. 2002. Characterisation of pectins extracted from fresh sugar beet under different conditions using an experimental design. Carbohydrate Polymers. 49, 145-153.

Lira-Ortíz, A. L., Reséndiz-Vega, F., Ríos-Leal, E., Contreras-Esquivel, J. C., Chavarría-Hernández, N., Vargas-Torrez, A., Rodríguez-Hernández, A. I. 2014. Pectins from waste of prickly pear fruits (*Opuntia albicarpa* Scheinvar "Reyna"): Chemical and rheological properties. Food Hydrocolloids. 37: 93-99

Lund D. B. 1983. Applications of differential scanning calorimetry in foods. Physical properties of foods. 125-155.

Lin, M. J. Y., Humbert , E. S. y Sosulki , F. M. 1974. Certain functional properties of sunflower meal products. J. Food Sci. 39: 368-370.

Manrique G. D. y Laiolo F. M. 2004. Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). Postharvest Biology Technology. 33, 11-26.

May, C. D. 1990. Industrial pectins: sources, production and applications. Carbohydrate polymers, 12, 79-99.

McComb E. A. y McCready M. M. 1957. Determination of acetyl in pectin and in acetylated carbohydrate polymers. Anal. Chem. 29(5):75-79.

Mora M. J., Gamboa P. J. y Elizondo M. R. 2002. Guía para el cultivo del mango. Ministerio de agricultura y ganadería. Costa Rica.

NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (Método de Soxhlet) en alimentos. Dirección General de Normas. México. Consultado en febrero de 2011.

NMX-F-103-1982. Norma oficial de método de prueba para la determinación de

grados Brix. Consultado en febrero de 2011.

NOM-129-SCFI-1998. Información comercial – Etiquetado de productos agrícolas – Mango. México Consultado en febrero de 2011.

Ornelas P. J. J., Yahia E. M. y Gardea A. A. 2008. Changes in external and internal color during postharvest ripening of “Manila” and “Ataulfo” mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCl- time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest biology and technology*. 50: 145-152.

Panchev I. N., Kirtchev N. A. y Kratchanov C. 1989. Kinetic model of pectin extraction. *Carbohydrate polymers*. 11: 193-204.

Prasanna V. Prabha T. N y Tharanathan R. N. 2004. Pectic polysaccharides of mango (*Manguifera indica* L): structural studies. 84: 1731-1735.

Rehman Z. U., Salariya A. M., Habid F. y Shah W. H. 2004. Utilization of mango peels as a source of pectin. *Journal Chemistry Society Pakistany*. 26(1): 73-76.

Ridley B. L. O’Neill M. A. y Mohnen D. 2001. Pectins: Structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*. 57 (6): 929-967.

SAGARPA, 2005. Plan Rector Sistema Nacional Mango. Comité Sistema Producto Mango. México.

Samson J. A., 1991. *Fruticultura tropical*. Editorial Limusa. Primera edición. México.

Scheller H. V., Jensen J. K., Sorensen S. O., Harholt J. y Geshi N. 2007. Biosynthesis of pectin. *Physiologia plantarum*. 129: 283-295.

Schultz T. H. 1965. Determination of the degree of sterification of the ester methoxyl content of pectin by saponification and titration. *Methods carbohydrate Chemistry*. 5:189-194.

Sharma S. K., Liptay A. y Le Maguer M. 1998. Molecular characterization, physico-chemical and functional properties of tomato fruit pectin. *Food Research International* 30(7):543-547.

SIAP, 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola para cultivos perennes. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (febrero de 2011).

Sirisakulwat S., Sruamsiri P. Carle R. y Neidhart S. 2010. Resistance of industrial mango peel waste to pectin degradation prior to by-product drying. *International journal of food science and technology*. 45: 1647-1658.

Sosulki, F. W. 1962. The centrifuge method for determination water absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chem.* 39: 344-351.

SNIIM, 2010. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Secretaría de Economía. [www.economia-sniim.gob.mx](http://www.economia-sniim.gob.mx) (febrero, 2011).

Srirangarajan A. N. y Shrikhande A. J. 1977. A research note: Characterization of mango peel pectin. *Journal of food science*. 42: 279-280.

Sudakar D. V. y Maini S. B. 2000. Isolation and characterization of mango peel pectins. *Journal of food processing preservation*. 24: 209-227.

Vivar V. M. A., Salazar M. J. A., Calva C. G., Ramos R. E. 2005. Extraction, thermal stability and kinetic behavior of pectinmethylesterase from haworth (*Crataegus pubescens*) fruit. *Food Science and Technology*. Vol. (40): 278-284.

Voragen A. G., Pilnik W, Thibault J. F. Axelos M. A. y Renard C. M. G. C. 1995. Pectins. In A. M. Stephen (Ed.), *Food polysacharides and their applications*. Pp. 287-322. Marcel Dekker.

Willats W. G. T., Knox J. P. y Dalgaard M. J. 2005. Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Foods Science and Technology*. 17: 97-104.