

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**POSTGRADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA DE LOS**  
**ALIMENTOS**



**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS OBTENIDOS DEL**  
**PROCESO DE DESPULPADO DEL MANGO (*Mangifera indica* L.),**  
**DE LAS VARIEDADES SMITH, TOMMY ATKINS, HADEN Y**  
**BOCADO COMO MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN**  
**DE PECTINAS**

**MIREIDA GAMBOA BANDRY**

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como**  
**requisito parcial para optar al título de Magíster Scientiarum en**  
**Ciencias de los Alimentos**

**Puerto La Cruz, Marzo 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**POSTGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS**  
**ALIMENTOS**



**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS OBTENIDOS DEL**  
**PROCESO DE DESPULPADO DEL MANGO (*Mangifera indica* L.),**  
**DE LAS VARIEDADES SMITH, TOMMY ATKINS, HADEN Y**  
**BOCADO COMO MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN**  
**DE PECTINAS.**

---

**Ing. MSc Sheyla Duerto**

**Tutor**

---

**Prof. Edith Salas de Marcano**

**Jurado**

---

**Prof. Douglas Belén**

**Jurado**

**Marzo, 2009**

## **DEDICATORIA**

A Dios Que Siempre Esta Conmigo

A Mis Padre, Por Ser Un Gran Ejemplo De Constancia, Trabajo Y Amor A La  
Vida

A Mis Abuelas, Por Su Cariño Y Comprensión, En Especial A La Abue  
Mireya, Te Quiero Mucho

A Mi Querida Tía América, Siempre Te Recuerdo

A Mi Hermano, Por Siempre Creer En Mí

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutora la Ing. Sheyla Duerto de la empresa Frutorca, C.A., por la oportunidad y confianza manifestada durante la ejecución de la investigación.

A la Coordinación de Postgrado en Ciencias e Ingeniería de los Alimentos, por la colaboración prestada durante el desarrollo del Postgrado.

Al Sr. Ernesto Cantore, por la receptividad y brindarme la oportunidad de realizar la investigación en las instalaciones de la empresa Frutorca, C.A.

A la Prof. Edith Salas de Marcano, por su gran apoyo durante el curso del postgrado, sus recomendaciones y revisiones del trabajo de grado.

Al Prof. Douglas Belén, por las observaciones y recomendaciones del proyecto y trabajo de grado, así como por los conocimientos y experiencias compartidas durante el curso de análisis de alimentos.

A la Sra. Morelba Sequera, por su gran colaboración en todos los trámites académicos en la Coordinación de Postgrado de Ciencia e Ingeniería de Alimentos y en la UDO.

A mis nuevos amigos, Giovanna, Yuli, Pedro, Sr. José Luis, Sr. Flavio, y todos los que conforman esa familia de Frutorca, gracias por la ayuda y el tiempo compartido.

A mis compañeros del postgrado con los que intercambie ideas y momentos agradables durante el estudio, Marynés Ramos, Davdmary Cueto, Diana Ramírez, Matilde Marcano, Raiza Cabeza, José Gregorio Velásquez...

Y a todos aquellos que de alguna manera me ayudaron durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la factibilidad de obtener pectinas de uso agroindustrial utilizando los residuos del despulpado (cáscaras) de cuatro variedades de mango (Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado) de la empresa Frutorca, C.A. El interés de trabajar en la obtención de pectinas de los desechos generados del proceso de despulpado del mango, se basa en gran parte a su creciente demanda como aditivo en la industria agroalimentaria por su capacidad gelificante y espesante, aunado a esto su aumento de consumo por la versatilidad de aplicaciones que tienen en diversos sectores industriales. Para ello, se determinaron las características físicoquímicas de las pectinas extraídas por hidrólisis ácida con ácido cítrico y precipitación de las mismas con alcohol isopropílico al 70% v/v, con el propósito de efectuar el proceso de obtención de las pectinas con insumos accesibles y disponibles en la planta; se evaluaron tres rangos de pH (2,0, 2,5 y 3,0) y tres tiempos de hidrólisis (40, 60 y 80 minutos); en cuanto a: el rendimiento obtenido como (%) de pectina seca, contenido de humedad (%), cenizas totales (%), cenizas insolubles en ácido (%), peso equivalente (mg/meq), acidez libre (meq de carboxilos libres/g), grado de esterificación, contenido de metoxilos (%) y contenido de ácido anhidrouónicos (%). Obteniéndose de estos análisis, información sobre el tipo de pectina presente en la piel (cáscara) de la mezcla de las cuatro variedades de mangos estudiadas, con la finalidad de establecer las condiciones más apropiadas para obtener pectinas de calidad, de acuerdo a las especificaciones establecidas por el Food Chemicals Codex (FCC) para pectinas comerciales. De acuerdo a los resultados conseguidos en los análisis mencionados, las pectinas que se obtuvieron presentaron un alto grado de esterificación (77,64 – 98,73%) y metoxilación (9,81 – 26,35%), el contenido de ácido anhidrouónico (AUA) varió entre 31, 71 – 75,87%, lo cual nos revela que las pectinas no presentan un alto grado de pureza. El rendimiento obtenido de las

pectinas secas fue bajo (1,40 – 7,43 %) en comparación con lo reportado en las literaturas revisadas. Con la finalidad de establecer en las pectinas extraídas que presentaron mayor rendimiento su capacidad para formar geles se preparo una formulación (5 g de pectina; 15 g de azúcar y 80 g de pulpa de mango) lo que permitió la gelificación de las tres pectinas extraídas. La pectina extraída a pH 1,5 y tiempo de extracción 80 minutos en hidrólisis ácida presentó el mayor rendimiento en % de pectina seca. Sin embargo, las pectinas conseguidas de los ensayos a pH 2,0 y tiempos de hidrólisis de 40 y 80 minutos, resultaron las que presentaron mayores características favorables al compararlas con las especificaciones del (FCC) para pectinas comerciales.

**Palabras claves:** Pectinas, mangos, ácido cítrico, cáscaras, residuos, hidrólisis ácida, alcohol isopropílico

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN .....	vi
Palabras claves:.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÒN.....	1
1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.2. Objetivos de la investigación:.....	9
1.2.1. Objetivo general: .....	9
1.2.2. Objetivos específicos:.....	9
CAPÍTULO II.....	10
MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. El Mango .....	10
2.1.1. Aspectos Generales del Mango .....	10
2.2. Propiedades nutricionales del mango .....	11
2.3. Producción del mango .....	11
2.4. Aprovechamiento industrial del mango.....	15
2.5. La Pectina .....	16
2.5.1. La Pectina y sus orígenes.....	16
2.5.2. Composición y estructura .....	17
2.5.3. Clasificación de las pectinas.....	20
2.5.4. Grado de esterificación.....	22
2.5.5. Propiedades de las pectinas .....	24

2.5.5.1. Enlaces de calcio .....	24
2.5.5.2. La viscosidad y el peso molecular de la pectina.....	25
2.5.5.3. Gelificación de la pectina .....	27
2.5.5.4. Extracción de pectinas .....	30
2.6. Aplicaciones de las pectinas .....	33
2.7. Producción mundial de pectinas .....	34
CAPÍTULO III .....	36
MATERIALES Y METODOS.....	36
3.1 Materia prima .....	36
3.2. Obtención y preparación de la muestra .....	38
3.3. Extracción de la pectina.....	39
3. 4. Precipitación y recuperación de la pectina .....	40
3.5. Caracterización de la pectina cruda obtenida .....	41
3.6. Análisis estadístico: .....	45
CAPÍTULO IV .....	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
4.1 Rendimiento de cáscaras de mangos del proceso del despulpado del mango.....	46
4. 2. Extracción de la pectina en medio ácido utilizando ácido cítrico como medio extractante y alcohol isopropílico al 70% v/v para la precipitación .....	46
4.3. Establecimiento de las condiciones de ensayo en las muestras donde se obtuvo mayor rendimiento de pectina.....	47
4.4. Condiciones de pH y tiempos de hidrólisis más adecuados para la extracción de pectinas a partir de las cáscaras de mangos .....	50
4. 5. Caracterización fisicoquímica de la pectina cruda obtenida de las muestras de cáscaras de mango.....	52
4.5.1. Contenido de humedad, cenizas totales y cenizas insolubles en ácido de las muestras de pectinas ensayadas .....	52

4.5.2. Peso equivalente y Acidez libre de las muestras de pectinas ensayadas .....	60
4.5.3. Grado de esterificación y porcentaje de metoxilos de las muestras de pectinas ensayadas .....	66
4.5.4. Contenido de Ácido Anhidrorónicos (AUA) de las muestras de pectinas ensayadas .....	74
4.5.5. Consistencia de los Geles preparados con las muestras de pectinas ensayadas .....	78
4.6. Determinación de la pectina de mejor calidad obtenida en los ensayos realizados en base a los estándares del Food Chemicals Codex (FCC) para pectinas comerciales.....	81
CAPÍTULO V.....	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
5.1. Conclusiones.....	83
5.2. Recomendaciones, .....	85
CAPÍTULO VI .....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	86
ANEXOS .....	95
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO: .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Contenido y características de calidad de pectinas de catorce variedades de mango.....	07
TABLA 2 Composición nutricional del fruto del mango.....	12
TABLA 3 Principales países productores de mango.....	13
TABLA 4 Principales países exportadores de mango.....	13
TABLA 5 Composición de las pectinas extraídas de algunas fuentes determinadas.....	34
TABLA 6 Análisis de la varianza (ANOVA) del rendimiento de las pectinas obtenidas de las muestras de las cáscaras de mango.....	48
TABLA 7 Rendimiento de las pectinas obtenidas de las muestras de las cáscaras de mango.....	49
TABLA 8 Contenido de humedad, cenizas totales y cenizas insolubles en ácido de las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mangos.....	53
TABLA 9 ANOVA del contenido de humedad de las muestras de pectinas ensayadas.....	54
TABLA 10 Diferencias mínimas significativas para el contenido de humedad de las muestras de pectinas ensayadas.....	54
TABLA 11 ANOVA cenizas totales de las muestras de pectinas ensayadas.....	57
TABLA 12 Diferencias mínimas significativas de las cenizas totales de las muestras de pectinas ensayadas.....	57
TABLA 13 ANOVA de las cenizas insolubles en ácido de las muestras de pectinas ensayadas.....	59
TABLA 14 Peso equivalente y acidez libre de las muestras de pectinas obtenidas de las cáscaras de mango.....	61

TABLA 15 ANAVA del peso equivalente de las muestras de pectinas ensayadas.....	61
TABLA 16 Diferencias mínimas significativas para el peso equivalente de las muestras de pectinas ensayadas.....	62
TABLA 17 ANAVA de la acidez libre de las muestras de pectinas evaluadas.....	64
TABLA 18 Diferencias mínimas significativas de la acidez libre de las muestras de pectinas ensayadas.....	65
TABLA 19 Grado de esterificación y porcentaje de metoxilos de las pectinas obtenidas de las muestras de las cáscaras de mango.....	67
TABLA 20 ANAVA del grado de esterificación de las muestras de pectinas obtenidas.....	68
TABLA 21 Diferencias mínimas significativas para el grado de esterificación de las muestras de pectinas ensayadas.....	68
TABLA 22 ANAVA del contenido de metoxilos de las pectinas ensayadas.....	71
TABLA 23 Diferencias mínimas significativas para el contenido de metoxilos de las muestras de pectinas ensayadas.....	72
TABLA 24 Porcentaje de ácido anhidrouónico presente en las pectinas obtenidas de las muestras de las cáscaras de mangos.....	74
TABLA 25 ANAVA para el contenido de ácido anhidrouónico de las muestras de pectinas ensayadas.....	75
TABLA 26 Diferencias mínimas significativas para el contenido de ácido anhidrouónico de las muestras de pectinas ensayadas.....	76
TABLA 27 Consistencia de los geles preparados con las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mangos.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Evolución de la superficie y rendimiento del mango en Venezuela en el Periodo 1990-1999.....	14
FIGURA 2 Estructura de la molécula de pectina.....	18
FIGURA 3 Estructura esquemática de la pectina.....	19
FIGURA 4 Clasificación de las pectinas de acuerdo al contenido de metoxilos .....	22
FIGURA 5 Representación esquemática del modelo caja de huevos para la gelificación de pectinas de bajo contenido de esterificación.....	26
FIGURA 6 Esquema tecnológico para la recolección y selección de los frutos del mango.....	37
FIGURA 7 Esquema tecnológico para el despulpado del mango.....	39
FIGURA 8 Esquema tecnológico para la preparación de la muestra y extracción de la pectina.....	41

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 Rendimiento de las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mango.....	52
GRÁFICO 2 Contenido de humedad presente en las pectinas obtenidas de cáscaras de mangos.....	55
GRAFICO 3 Contenido de cenizas totales e insolubles en ácido en las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mangos.....	58
GRAFICO 4 Peso equivalente de las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mangos.....	63
GRAFICO 5 Acidez libre en las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mangos.....	66
GRAFICO 6 Grado de esterificación y porcentaje de metoxilos presente en las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mangos.....	70
GRAFICO 7 Porcentaje de ácido anhidrouónico (AUA) presente en las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mangos.....	75

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales de mayor consumo fresco en el mundo. Originario de la India, su producción se extiende a lo largo de la franja intertropical, habiendo sido traído a Venezuela en 1842 desde las Antillas (Avilán y col., 1993; Avilán y Rengifo, 1990), desde su introducción ha sido una de las especies que mejor se ha adaptado a las diversas condiciones de suelo y clima que existen en Venezuela (Meléndez y col., 1999).

Al presentar grandes cualidades nutritivas y ventajas agroclimáticas, se ha incentivado su producción y estimulado la exportación del mismo, permitiéndole competir en calidad con los exigentes mercados de los Estados Unidos y Europa (Avilán y Rengifo, 1990). Sin embargo, durante el procesamiento del mango se generan una gran cantidad de residuos orgánicos como: cáscaras, semillas, etc., lo cual aumenta considerablemente los costos de disposición y tratamiento de los mismos. Siendo éste, un gran problema en muchas industrias de procesamiento de frutales, de allí la búsqueda de alternativas para minimizar los desechos e incentivar la aplicación de tecnologías que permitan reducir los costos de tratamiento de los residuos generados y disminuir el impacto ambiental (Pap y col., 2004).

Una alternativa para el manejo de estos residuos, es la obtención de subproductos que le aporten valor agregado al proceso de despulpado del mango, como: pectinas, fibra comestible, ácido cítrico, almidones, entre otros, con la finalidad de incorporarlos a otros procesos agroalimentarios. La recuperación de estos residuos es ahora una adecuada vía para la obtención de diversos subproductos debido al alto porcentaje de residuos que se generan en los diversos procesos productivos. (Bernardini y col., 2005; Ferreira y col., 1995; Scheieber y col., 2004).

Por otro lado, debido a razones ambientales y exigencias legales, la industria se ve cada vez más forzada a encontrar alternativas de uso de los residuos que genera; esto se da por lo general en las industrias procesadoras de alimentos, como por ejemplo las que manejan vegetales y frutas (Scheieber y col., 2004).

La pectina, proviene de la palabra griega “Pekos” (denso, espeso, coagulado), es una sustancia mucilaginosa de las plantas superiores. Esta asociada con la celulosa y le otorga a la pared celular la habilidad de absorber grandes cantidades de agua. La celulosa tiene un importante rol en la estructura ya que le da rigidez a las células, mientras que la pectina contribuye a su textura. Durante años, las amas de casa han utilizado la pectina contenida en las frutas “in situ” para “espesar jaleas”. Su extracción industrial se inició a principios del siglo XX. El interés de trabajar en la obtención de pectinas de los residuos (cáscaras) del procesamiento del despulpado del mango, se debe en gran parte a la importancia de este aditivo en la industria de alimentos, por sus propiedades espesantes y gelificantes en productos tales como: gelatinas, mermeladas, jaleas, gomas, usos en repostería y conservas vegetales (Coulter, 1996; Berlitz y col., 1988; Pagán, 1995); por ello se evaluaron parámetros químicos importantes asociados a esta propiedad como el grado de esterificación (DE), contenido de metoxilos, porcentaje de ácido anhidrourónico, entre otros, a fin de establecer el tipo de pectina obtenida y en base a ello determinar su posibilidad de uso.

En este trabajo se pretende hacer una evaluación preliminar del uso de los residuos (cáscaras de cuatro variedades de mango, las cuales se obtienen mezcladas al tomarse de la línea de producción) derivados directamente del proceso de despulpado del mango como materia prima para la obtención de pectinas por hidrólisis ácida con una dilución con ácido cítrico en caliente como agente extractante a tres rangos de pH (1,5; 2,0 y 2,5), ajustando tres tiempos (40; 60 y 80 minutos) para dicha hidrólisis y precipitando la pectina con alcohol isopropílico a 70% v/v, con la finalidad de ensayar la interacción de estos dos factores en el rendimiento y características de las

pectinas obtenidas. Con el propósito, de considerar su utilización en la elaboración de otros productos de la empresa Frutorca C.A.

### **1.1. Antecedentes de la investigación**

Las materias primas más comúnmente utilizadas para obtener pectinas han sido los orujos de los cítricos y de manzanas. Sin embargo, se siguen desarrollando estudios para optimizar la producción de pectina obtenida de los mismos. Así, se tiene que Cateri y col. (2005) han evaluado el efecto del tamaño de las partículas de la materia prima y la procedencia de pectina a partir de una harina de manzanas secas (variedades: Belgolden, Catarina, Eva, Fred Hough, Fuji, Gala, MRC, Rainha y Sansa), que hicieron reaccionar con agua acidulada con ácido cítrico y ácido nítrico pH 2,5. Al obtener la harina de manzana modificaron el tamaño de las partículas, en este sentido los investigadores señalaron que cuando las partículas oscilaban entre 106  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ , se logró obtener un rendimiento de un 14% aproximadamente de pectina y con un adecuado grado de esterificación de 68,84%. Esto indicó que era recomendable realizar una molienda o pulverización del material antes de proceder a la extracción y de ajustar adecuadamente el rango de pH con el extractante durante el proceso de hidrólisis a fin de aumentar el rendimiento de la pectina.

Por su parte, Virki y Sogi (2004), en investigaciones realizadas con residuos de cáscaras de manzanas alcanzaron un rendimiento de 1,21% de pectina y demostraron que lograron resultados de extracción más eficientes con ácido cítrico que con ácido clorhídrico; al evaluar las características físico-químicas de las pectinas obtenidas, éstas reportaron un alto grado de gelificación (80), bajo contenido de metoxilos (3,7%), bajo contenido de acetilos (0,68), alto contenido de ácido anhidrouónico (62,82%), un grado de esterificación entre 33 y 44 % y un peso equivalente de 652,48, lo que les permitió obtener geles más viscosos y densos que pueden resultar adecuados para su uso en pastelería.

En el caso de los cítricos, Camejo y col. (1990 a); Camejo y col. (1990 b), evaluaron en limones y toronjas la influencia de dos factores externos (pH y tiempo de calentamiento) en la formación del gel de pectina extraído de limones (variedad lima Tahití) y de toronjas (variedad Marsh). Para ello, utilizaron el método de hidrólisis ácida, por considerarlo uno de los más convenientes y sencillos, usando ácido clorhídrico con dos valores de pH (2,5 y 3) y dos tiempos diferentes de calentamiento (60 y 90 min.); a una temperatura fija de 95 °C para los limones y 90°C para las toronjas; logrando obtener para ambos cultivos un extracto de pectina purificada. Para determinar la calidad de las mismas se basaron en cualidades de la pectina que influyen directamente sobre las características del gel como son: el contenido de ácido galacturónico, contenido de metoxilo y consistencia del gel formado en la preparación de unos bocadillos de guayaba para las pectinas extraídas de los limones.

Para el caso específico de los limones, Camejo y col. (1990 a), señalan que obtuvieron el mejor rendimiento (20,54%) de pectina y con las mejores características de calidad (52,83% de ácido galacturónico y 2,8% de metoxilos) a un pH de extracción de 2,5 y tiempo de calentamiento de 90 minutos, lo que les permitió establecer que una relación entre pH bajos y altos tiempos de calentamiento tienden a aumentar el volumen de la pectina extraída. La consistencia de la pectina la evaluaron elaborando dulces, los cuales al ser comparados con los comerciales no presentaron diferencias significativas, a pesar de que la pectina fue caracterizada como de bajo metoxilo, lo que implica baja capacidad de gelificación.

Los resultados obtenidos de las pectinas extraídas de las toronjas por Camejo y col. (1990 b), presentaron cierta discrepancia con los resultados obtenidos por estos autores en las evaluaciones realizadas en los limones, ya que en este caso la pectina de mejor calidad (91,05% de ácido galacturónico y 5,32% de metoxilo) resultó la

extraída a pH 3,0 y tiempo de calentamiento de 60 minutos, alcanzando un rendimiento de 6,7%. Sin embargo, el mayor rendimiento de pectina (17,4%) lo obtuvieron a pH 2,0 y tiempo de calentamiento de 90 minutos, pero la pectina resulto de menor calidad (81,65% de ácido galacturónico y 4,57% de metoxilos). Esto les permitió inferir que aunque con una relación de bajos pH y altos tiempos de calentamiento se consiguen mayores rendimientos de pectina, no necesariamente indica la obtención de pectinas de buena calidad de gelificación, lo cual probablemente pudo estar muy relacionado el tipo de materia prima utilizado. Sin embargo, estos resultados logrados al evaluar dos factores importantes en el proceso de extracción de pectinas, les permitió establecer relaciones adecuadas de los mismos, dependiendo de si lo que se pretende es altos rendimientos de pectina o pectinas de calidad de acuerdo al uso que tendrán las mismas.

Una nueva alternativa de materia prima para la extracción de pectinas se encuentra el mango; para lo cual se han realizado algunas investigaciones que se detallarán a continuación.

Schieber y col. (2004), realizaron estudios de muestras tomadas de la cáscara de catorce variedades de mango, Tommy Atkins, Kent de Brazil; Ngowe de Kenia; R2E2 de Australia; José de Réunion; Minimango de Colombia; Haden, Heidi de Perú; Manila, Kaew, Mon Duen Gao, Maha Chanock, Nam Dokmai, Chock Anan de Tailandia; las cuales fueron evaluadas por su contenido y calidad de las pectinas. La extracción fue realizada con 25% de ácido sulfurico a 90° C por 2,5 horas, después de la centrifugación, las pectinas solubles fueron precipitadas con adición de etanol y separadas por filtración y liofilización para su evaluación. Los contenidos del ácido galacturónico y grado de esterificación de las pectinas obtenidas fueron determinados por varios procesos de medición volumétrica (titrimetricamente).

En los resultados obtenidos por Schieber y col. (2004) que se muestran en la Tabla 1, se puede apreciar que los valores de rendimiento obtenidos en pectina van desde 12,2 % (Nam Dokmai) a 21,2 % (Ngowe); también se observa que de los seis cultivares de mango de origen tailandés, cuatro de ellos presentaron bajo contenido de pectina. En el caso del ácido galacturónico, en todos los cultivares se obtuvieron valores altos que van desde 72,7% a 87,2% y un grado de esterificación mayor a 50%. Los investigadores concluyeron que las cáscaras del mango son una alternativa adecuada para la extracción de pectinas.

Villalobos (1990), llevó acabo trabajos reportados con mango de las variedades: Kent, Keitt, Smith y Criollo Común, la extracción de pectinas fué realizada a 98-100 °C, usando agua destilada acidulada y manteniendo el rango de pH de 2.0 +/- 0.2 y un tiempo de calentamiento durante 30 minutos. La pectina fué precipitada con etanol desnaturalizado en HCL; el rendimiento que reportaron estos autores fue de 1,85 – 3,58 % de pectina en base seca, con un contenido de ácido galacturónico entre 36,92 - 93,37 % y con un porcentaje de metoxilos de 3,30 – 8,6 respectivamente. Al compararlas con pectinas de otras fuentes, las mismas se encontraron en un rango aceptable de calidad y rendimiento, con variedades de pectinas que pueden tener diversos usos pues tienen un rango de esterificación que oscila entre 34,78 – 52,29%. Además, señalan que las pectinas pueden clasificarse como de rápida gelificación, ya que el tiempo de gelificación reportado resulto menor a 10 min.

**Tabla 1.** Contenido y características de calidad de pectinas extraídas de catorce variedades de mango

Cultivar	Pectina (%)	Ácido Galacturónico (%)	Grado de Esterificación (%)
Tommy Atkins	19,2	86,0	65,6
Manila	19,8	75,8	57,6
Ngowe	21,2	87,2	62,9
R2E2	16,7	85,5	63,3
Kent	15,8	82,1	57,7
José	17,6	77,0	57,6
Minimango	16,3	86,6	56,3
Haden	17,6	86,4	60,7
Heidi	13,8	83,8	59,5
Kaew	16,3	80,2	57,2
Mon Due Gao	12,7	85,5	57,8
Maha Chanock	12,9	82,0	62,8
Nam Dokmai	12,2	72,7	60,7
Chock Anan	12,6	83,2	60,9

Fuente: Schieber y col. (2004).

De igual manera, Rodríguez (2001), efectuó investigaciones en mangos fisiológicamente maduros y de varias fracciones del fruto (un lote I: con dos sub-lotes, A: piel y B: pulpa y un lote II: con un sub-lote C: que contenía la piel y la pulpa, a todos se le eliminó la semilla), específicamente de la variedad Hilacha. Una vez que se trocearon los materiales de los tres sub-lotes, procedieron a separar una porción de cada uno para la determinar los sólidos totales y el resto lo deshidrataron en un desecador de bandejas a 65 °C por 18 a 24 horas. Posteriormente lo molieron y tamizaron hasta 60 mesh. Para la extracción de pectina total se basaron en la metodología de Mc Crady y Mc Comb (1952), para lo cual separaron unos 2 g de muestra purificada que precipitaron en 50 ml de etanol al 95% por 60 min., luego lavaron dos veces el residuo con etanol a 95% y dos veces con etanol a 70% por unos 15 min, inmediatamente se resuspendió el residuo con unos 50 ml de EDTA al 0,5%. A la suspensión anterior le ajustan el pH a 11,5 con NaOH 1,0 N por 30 min., para posteriormente acidificarlo con ácido acético 1,0 N hasta llegar a pH 5,0-5,5. Obteniéndose los siguientes resultados, sólidos totales (20,50%), sólidos solubles (20,00%), pH (4,50), acidez total titulable (0,24%), contenido de ácido ascórbico

(1,36%), fibra cruda (1,12%) y de pectina (0,10%). La autora reporta, que según sus resultados, el extracto obtenido de la piel presentó el mayor contenido de pectina total y pectina soluble en agua e insoluble en benceno, resultando el grado de esterificación de las tres pectinas estadísticamente similares. Para evaluar la calidad de las pectinas extraídas de cada una de las porciones del fruto, se prepararon geles y les determinaron sus características reológicas, siendo el gel obtenido a partir de la pectina de la piel el que presentó la mayor consistencia.

Ferreira y col. (1995), por su parte, realizaron extracciones de pectinas de mango a nivel de planta piloto a diferentes valores de pH (3.2, 3.4, 3.6) y tiempos de hidrólisis (45, 60 y 75 min). La calidad de las mismas fue determinada en este caso por cenizas, acidez libre, peso equivalente, grado de esterificación, viscosidad y comportamiento reológico, contenido de ácido hialurónico, calcio, magnesio, hierro y grado de gelificación. Obtuvieron, que las mejores condiciones de acuerdo a la calidad de la pectina, resultó en este caso, pH de 3.2 y 75 minutos de hidrólisis, y que la adición de hexametáfosfato de sodio aumenta el rendimiento del proceso en un 23% pero duplica la cantidad de ácido clorhídrico requerido para la hidrólisis y disminuye la calidad de las pectinas.

Bernardini y col. (2005), evaluaron la factibilidad técnica de obtener pectinas y compuestos fenólicos de las cáscaras provenientes del despulpado del mango. El mismo se realizó con cáscaras de mango secas que se acidificaron con ácido sulfúrico (98%) caliente (90°C) por 2,5 horas hasta ajustar el pH a 1,5 y después se procedió a filtrar y clarificar el extracto y se llevo a -20°C antes de ser usada. Esta investigación les permitió evaluar la oxidación de las pectinas antes y después de la absorción de los compuestos fenólicos. Los resultados indicaron, que las pectinas extraídas de las cáscaras secas de mango no se ven tan afectadas por la oxidación como las de la manzana, ya que las moléculas de los compuestos fenólicos son

degradadas durante la extracción de las pectinas. Constituye una alternativa sustentable que podría considerarse en la industria de procesamiento del mango.

## **1.2. Objetivos de la investigación:**

### **1.2.1. Objetivo general:**

- Evaluar la factibilidad del aprovechamiento de los residuos (cáscaras) obtenidos del proceso de despulpado del mango (**Mangifera indica L.**) de la mezcla de las variedades Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado como materias primas para la obtención de pectinas para uso agroindustrial.

### **1.2.2. Objetivos específicos:**

- Extraer la pectina en medio ácido utilizando ácido cítrico como medio extractante y precipitación con alcohol de 70 % v/v.
- Establecer las condiciones de ensayo (rangos de pH y tiempos de hidrólisis) más adecuados para la extracción y donde el rendimiento de pectina obtenida de los residuos del despulpado del mango (cáscaras) sea mayor.
- Caracterizar físicoquímicamente la pectina obtenida, en base a: contenido de cenizas totales, cenizas insolubles en ácido, peso equivalente, acidez libre, porcentaje de metoxilos presentes, grado de esterificación y riqueza de ácido anhidrouónico con los recursos y equipos disponibles en la planta.
- Determinar la pectina de mejor “calidad”, relacionando las variables evaluadas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. El Mango**

##### **2.1.1. Aspectos Generales del Mango**

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece a la familia botánica de las Anacardiáceas (*Anacardiaceae*), es una de las frutas tropicales de mayor consumo fresco en el mundo. Originario de la India, su producción se extiende a lo largo de la franja intertropical, habiendo sido traído a Venezuela en 1842 desde las Antillas (Avilán y col., 1993; Avilán y Rengifo, 1990), desde su introducción ha sido una de las especies que mejor se ha adaptado a las diversas condiciones de suelo y clima que existen en Venezuela (Meléndez y col., 1999).

Es un cultivo perenne de floración estacional, cuyos árboles jóvenes inician su producción generalmente entre el tercer y cuarto año dependiendo de la variedad (Terranova editores, 1995). En Venezuela, casi todos los cultivares florecen durante los meses de diciembre, enero y febrero y se cosecha de abril a julio, dependiendo del cultivar y de las condiciones agroecológicas de la zona (Avilán y Rengifo, 1990). El árbol crece hasta 15 m de altura y forma una amplia copa con numerosas ramas altas y abiertas (INCA, 2004).

El fruto clasificado como una drupa que encierra un hueso aplanado rodeado por una cubierta leñosa (Avilán y Rengifo, 1990), es de forma muy variable, pero generalmente es ovoide, oblongo o arriñonado, a veces redondeado u obtuso en ambos extremos, de 5 a 15 cm de longitud. Las propiedades organolépticas del fruto como: color, aroma, sabor y olor de la pulpa tienden a presentar versatilidad dependiendo de la variedad del mango. Sin embargo, suelen ser, verdes, amarillos,

diferentes tonalidades de rojo, mate o con brillo cuando están maduros. Su pulpa, de color amarillo intenso a casi anaranjada, con un sabor muy dulce y aromático (Cevallos, 2006; Terranova editores, 1995).

## **2.2. Propiedades nutricionales del mango**

El mango presenta un bajo contenido calórico, debido a su moderado contenido de carbohidratos. Contiene un adecuado aporte de minerales como potasio, calcio y magnesio. En cuanto a las vitaminas, los frutos maduros son una importante fuente de provitamina A, vitamina C y betacarotenos (Rivas, 1984; Cevallos, 2006). También es una fuente importante de vitamina E y folatos, y en menor medida otras vitaminas como B2 y niacina. Entre los minerales que contiene el mango destacan el potasio y el magnesio, aunque presenta pequeñas cantidades de hierro, fósforo y calcio (Serna y Becerra, 1987), siendo una buena fuente de estos nutrientes. De igual manera, constituyen un gran aporte de proteínas, grasas (Serna y Becerra, 1987) fibras solubles (pectinas), ácidos orgánicos (cítrico y málico) y taninos (Tabla 2).

## **2.3. Producción del mango**

En el mundo se producen aproximadamente unas 14 millones de toneladas por año de mango. Entre los principales productores de mango se encuentran los países asiáticos, México y Brasil, siendo más importante la India, ya que cuenta con un 50,7% de participación en el total de la producción mundial (Cevallos, 2006; INCA, 2004). Sin embargo, México y Brasil (Tablas 3 y 4) son los dos mayores exportadores representando Estados Unidos de América y Europa sus principales mercados (INCA, 2004).

**Tabla 2.** Composición nutricional del fruto del mango

COMPOSICIÓN		
	Cantidad por 100 g por porción comestible	Ingesta Recomendada
Agua (g)	82	-
Energía (kcal)	57	3000 - 2300
Proteínas (g)	0.60	54 - 41
Hidratos de carbono (g)	12.5	450 - 350 (a)
Lípidos (g)	0.45	90 - 80 (a)
Fibra		
Fibra total (g)	1.70	> 30 (a)
Soluble (g)	0.63	12 (a)
Insoluble (g)	1.07	18 (a)
Vitaminas		
Vitamina A (Eq. Retinol) (µg)	201	1000 - 800
Carotenos totales (µg)	1300	-
Alfa-caroteno (µg)	37	-
Beta-caroteno (µg)	1200	-
Criptoxantina (µg)	49	-
Vitamina E (mg)	1	10 - 8
Vitamina B1 (mg)	0.045	1.2 - 1.1
Vitamina B2 (mg)	0.05	1.3 - 1.2
Niacina (mg)	0.7	16 - 15
Folatos (µg)	36	400
Vitamina C (mg)	37	60
Minerales		
Calcio (mg)	12	1000 - 1200
Hierro (mg)	0.4	10 - 15
Fósforo (mg)	13	700
Yodo (µg)	1.6	150
Magnesio (mg)	18	400 - 350
Zinc (mg)	0.118	15 - 12
Selenio (µg)	0.6	70 - 55
Sodio (mg)	5	-
Potasio (mg)	170	-
Acidos orgánicos		
Acido cítrico (mg)	264	-
Acido málico (mg)	74	-
Acido oxálico (mg)	36	-
Acido tartárico (mg)	81	-

Fuente: Moreiras y col. (2001).

**Tabla 3.** Principales países productores de mango

Países	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2003–2005
	(miles de toneladas métricas)										(%)
India	11.000	11.000	10.230	9.780	10.500	10.060	10.640	10.780	10.800	10.800	38.58
China	2.074	2.410	2.562	3.127	3.211	3.273	3.513	3.571	3.582	3.673	12.90
Tailandia	1.181	1.198	1.088	1.462	1.633	1.700	1.700	1.700	1.700	1.800	6.20
México	1.189	1.500	1.474	1.508	1.559	1.577	1.523	1.362	1.573	1.679	5.50
Indonesia	783	1.088	600	827	876	923	1.430	1.526	1.438	1.478	5.29
Pakistán	908	914	917	916	938	990	1.037	1.035	1.056	1.674	4.48
Brasil	593	508	469	456	538	782	842	1.254	1.358	1.000	4.30
Filipinas	898	1.005	945	866	848	882	956	1.006	968	985	3.53
Nigeria	656	689	731	729	730	730	730	730	730	730	2.61
Egipto	203	231	223	287	299	325	287	319	375	380	1.28
Otros	3.248	3.230	3.347	3.656	3.597	3.731	4.001	4.327	4.242	4.308	15.34
Total del Mundo	22.733	23.773	22.584	22.584	24.730	24.973	26.634	27.609	27.822	28.503	100.00

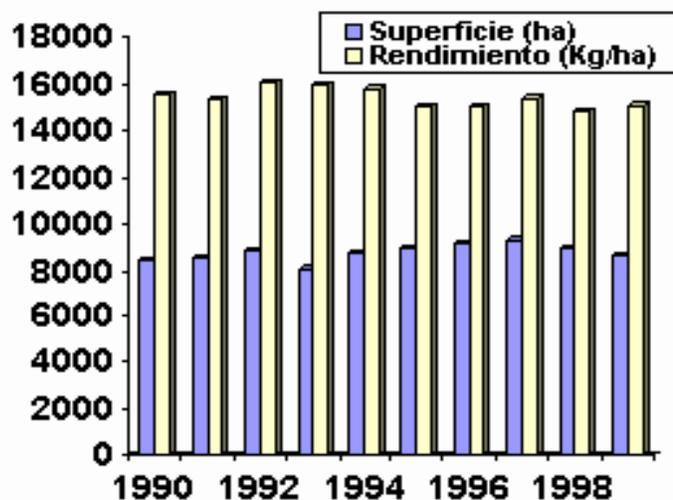
Fuente: FAOSTAT (2007).

**Tabla 4.** Principales países exportadores de mango

Países	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2003–2005
	(miles de toneladas métricas)										(%)
México	148	187	209	204	207	195	195	216	213	195	22.64
India	27	45	47	38	39	46	42	179	156	223	20.25
Brasil	24	23	39	54	67	94	104	138	111	114	13.18
Pakistán	18	25	39	41	48	52	48	60	82	49	6.94
Holanda	21	25	17	37	34	43	33	58	51	69	6.42
Perú	11	6	11	20	21	27	35	40	60	58	5.71
Ecuador	0	2	7	0	26	34	30	38	41	40	4.31
Filipinas	40	45	53	35	40	39	36	38	36	25	3.61
Tailandia	8	9	10	10	9	11	9	8	33	2	1.55
China	12	7	9	10	5	5	15	22	10	4	1.31
Otros	80	104	87	103	132	121	127	126	127	135	14.08
Total del Mundo	391	478	529	552	628	666	673	923	920	913	100.00

Fuente: FAOSTAT (2007).

Las frutas en Venezuela constituyen un importante rubro dentro de la producción agrícola vegetal. Según las cifras reportadas por el MAT (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras), la superficie sembrada de frutales representó entre los años 1995-2005 cerca del 10 – 14 % (Agrotendencia, 2006), esto da una idea de la importancia de este sector dentro de la agricultura y consumo de los venezolanos. Aunque el mango no se encuentra entre las principales frutas que se producen, en los últimos años su producción ha ido en crecimiento; así en 1999 (Figura 1), la superficie de explotación del cultivo fue de 8650 ha, con una producción de 130.180 t, los rendimientos promedios estaban alrededor de las 15 t/ha (Avilán y col., 2003). Para el 2006, se reportó que el cultivo del mango representaba solo el 4% de la superficie total cosechada en el país (Agrotendencias, 2006). Sin embargo, la FAO, 2005, señala que en Venezuela para el año 2004 la producción del rubro frutas y vegetales fue de 3.763 t.



**Figura 1.** Evolución de la superficie y rendimiento del mango en Venezuela. Período 1990-1999

Fuente: Avilán y col. (2003).

En la actualidad, a pesar de las cualidades nutritivas, las ventajas agroclimáticas y la introducción de variedades mejoradas que han incentivado la producción de este cultivo; la misma aún no logra abastecer la demanda de los mercados internacionales a fin de garantizar un volumen de exportación constante (Di Mase y col., 1991; Agrotendencias, 2006). Sumado a esto, las desventajas del control de cambio y sobrevaloración de la moneda, que permitirían una colocación de manera competitiva en los mercados nacionales (Agrotendencias, 2006), se ve perturbada por la competencia con frutas importadas que entran al país y compiten con precios más bajos, es por esto que se incentiva la obtención de subproductos del mango, los cuales pueden ofrecer productos a precios más adecuados y abastecer otros renglones productivos durante todo el año.

#### **2.4. Aprovechamiento industrial del mango**

El mango tiene diferentes aplicaciones agroindustriales. Uno de los usos más comunes que se le da a este fruto es la obtención de pulpa, la cual se utiliza como materia prima en la producción de otros productos tales como; jugo de mango, néctar de mango, vino de mango, mango deshidratado u orejones, helados de mango, conservas de mango, dulces enlatados, salsas, yogurt de mango, mermeladas de mango, entre otros (Terranova editores, 1995; Arriola, 1986; CNP, 1998). Además, de la elaboración de la pulpa de mango se pueden obtener varios productos secundarios, ya que la parte comestible representa un 33 – 85 % aproximadamente de la fruta fresca, mientras que la cáscara y la semilla cerca de un 7 – 24 % y 9 – 40 % respectivamente. Los productos secundarios que se generan del procesamiento industrial del mango suman cerca del 35 – 60 % del peso total de la fruta (Berardini y col., 2005).

Estos subproductos o productos secundarios se obtienen de los desechos del procesamiento del mango (cáscaras y semillas), los cuales constituyen un problema de disposición de los mismos si no van a ser usados para la alimentación animal), de allí que muchos investigadores en búsqueda de un aprovechamiento integral del mango que implique una producción sustentable han desarrollado varias propuestas. Por ejemplo, las semillas del mango pueden ser usadas para la obtención de grasas, antioxidantes naturales, almidones, harinas, aceites y piensos para animales (Bernardini y col., 2005). En el caso de las cáscaras, éstas son usadas para producción de biogás, fibra dietética con una alta actividad enzimática, otros estudios han demostrado la posibilidad de utilizar las cáscaras del mango como fuente para la obtención de pectinas (Bernardini y col., 2005).

## **2.5. La Pectina**

### **2.5.1. La Pectina y sus orígenes**

La pectina fue descubierta en 1790 cuando Vauquelin encontró una sustancia soluble en el zumo de las frutas (Pagán, 1995). En 1825 el científico francés Braconnot continuó las investigaciones realizadas por Vauquelin y encontró una sustancia ampliamente disponible en los tejidos vegetales y ya observada en el pasado, la cual adquiría propiedades gelificantes cuando se le añadía ácido a su solución. La llamó “pectina ácida”, del griego “pectos” que significa sólido, denso, coagulado (Pagán, 1995; Desorie, 1981). Las pectinas constituyen mezclas complejas de polisacáridos que pueden llegar a constituir un tercio del peso seco de la pared celular de las dicotiledóneas y algunas monocotiledóneas (Jarvis y Col., 1988).

### 2.5.2. Composición y estructura

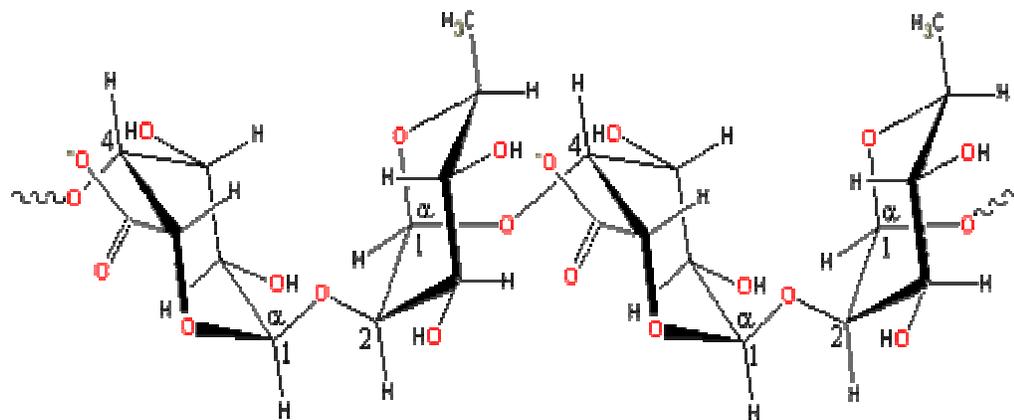
Las mayores concentraciones de pectinas se han encontrado en la lámina media de la pared celular, disminuyendo gradualmente su contenido hacia la membrana plasmática (Darvill y col., 1980). Constituyen, una tercera parte de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y algunas monocotiledóneas (Jarvis y Col., 1988). Las pectinas cumplen una función lubricante y cementante en la pared celular de las plantas superiores; están implicadas en la textura y maduración de los frutos y en el crecimiento de los vegetales. Además, se encuentran asociadas con una parte sustancial de las materias estructurales de los tejidos blandos (parénquima de las frutas, celulosa y de las raíces carnosas) y le otorgan a la pared celular la habilidad de absorber grandes cantidades de agua (Coulter, 1996; Desorie, 1981; Kimball, 1999).

En 1924 Smolenki, identificó el componente principal de las pectinas, el ácido poligalacturónico. En 1944, el comité para la revisión de la nomenclatura de sustancias pécticas estableció la definición de pectinas (Kertesz y col., 1944); la terminología desde entonces ha variado mucho. Actualmente, se les consideran pectinas a los grupos heterogéneos polisacáridos ácidos complejos de naturaleza coloidal que contienen un esqueleto de residuos de ácido galacturónico (Serra y col., 1992).

Químicamente hablando, se puede decir que las sustancias pécticas son ácidos pectínicos de alto peso molecular o polímeros compuestos principalmente de unidades de (1,4)- $\beta$ -D-galacturonapiranosilo, con porciones variables de los grupos carboxilo esterificados (en el C6) con alcohol metílico (Fennema, 1993; Charley, 1997; Belitz y Grosch, 1988; Coulter, 1996). Específicamente, los ácidos pectínicos que tienen más de la mitad y hasta tres cuartas partes de los grupos esterificados en esa forma se denominan pectinas (Charley, 1997). La estructura de las pectinas se encuentra conformada aproximadamente por unas 150 a 500 unidades de ácido

galacturónico parcialmente esterificado por un grupo metoxilo, contiene también restos de L-ramnosa unidas al extremo reductor del ácido galacturónico (Figura 2) por enlaces (1 $\epsilon$  - 2 $\beta$ ) y al extremo no reductor del siguiente residuo urónico por enlaces (1 $\beta$  - 4 $\epsilon$ ) (Pagán, 1995).

Además, se encuentra ramificada con cadenas laterales compuestas mayoritariamente por  $\beta$ -D-galactopiranososa y  $\epsilon$ -arabinofuranosa (Dominic, 1989; Kimball, 1999). También, se ha detectado en las cadenas secundarias de las sustancias pecticas la presencia de otros monómeros como, galactosa, arabinosa, ácido glucurónico, xilosa y fucosa, entre otros monosacáridos (Serra y col., 1992).

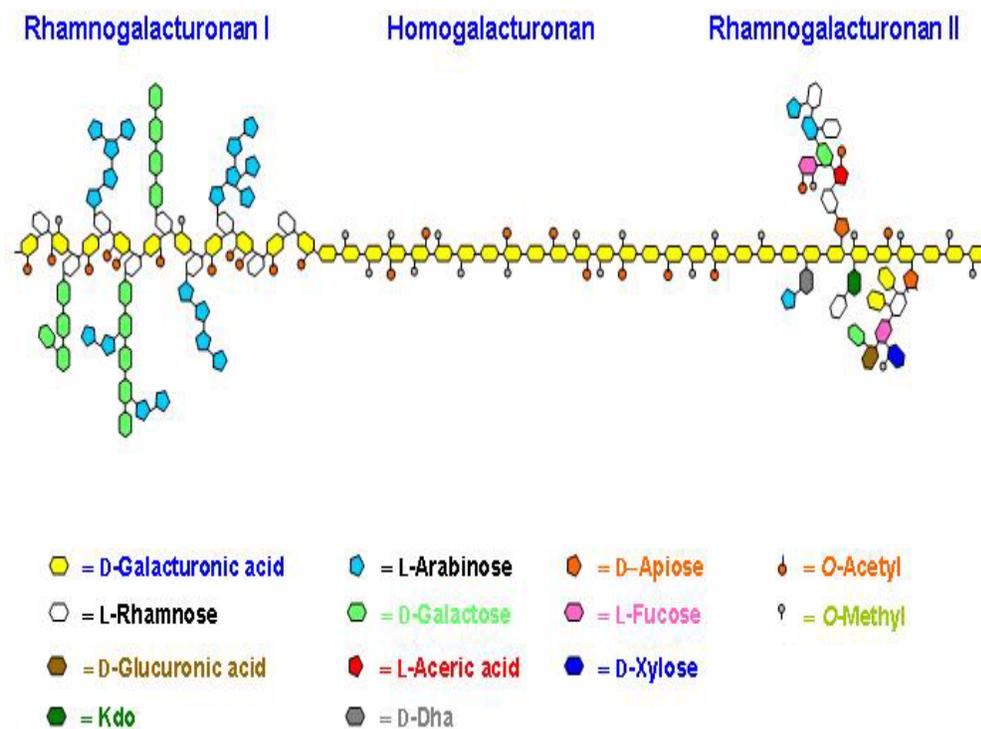


**Figura 2:** Estructura de la molécula de pectina. Cadena de ácido poligalacturónico parcialmente eterificado.

Fuente: <http://www.lsbu.ac.uk/water/hpec.html>

Las pectinas son heteropolisacáridos que pueden contener dos regiones bien definidas (Figura 3). Una región lisa o homogalacturano, la cual consiste como ya se mencionó, en un esqueleto de residuos de ácidos D-galacturónico unidos mediante enlaces (1,4)- $\epsilon$ , los cuales pueden estar acetilados en el carbono C2 o C3, o metilados en el C6 y una región rugosa o ramnogalacturonano I, consistente en un heteropolímero en el que los residuos de ácido D-galacturónico del esqueleto de la pectina están interrumpidos por residuos de L-ramnosa unidos por enlaces (1,2)- $\epsilon$ , a

las cuales se pueden unir cadenas largas de arabinano y galactano en el carbono C4 (Sharman y col., 2006; De Vries y col., 1983). El ramnogalacturonano II, es un polisacárido de 30 unidades que contiene un esqueleto de ácido galacturónico, sustituido por 4 cadenas laterales ramnosa, arabinosa y azúcares no comunes como, apiosa y metilfucosa (Sharman y col., 2006; Pérez y col., 2000). Aún se desconoce si el ramnogalacturonano II está unido covalentemente a la cadena principal de las pectinas (Pérez y col., 2000).



**Figura 3.** Estructura esquemática de la pectina.

Fuente: Willats y col. (2006).

### 2.5.3. Clasificación de las pectinas

Las pectinas se pueden clasificar de acuerdo a las modificaciones que sufren en su cadena principal, sin embargo, el término de pectina puede aplicarse a: protopectinas, ácidos pécticos, ácido pectínicos y pectina.

- **La protopectina**, está constituida por una matriz de sustancias pécticas que por un proceso de hidrólisis da origen a la pectina o al ácido pectínico. Con el término de protopectina, se describen las sustancias pecticas que se encuentran en los tejidos vegetales y son insolubles en agua y de las cuales posteriormente se forman las sustancias pecticas solubles (Bravo, 1981). Las Protopectinas, extraíbles con soluciones alcalinas o ácidos diluidos en caliente, presentan una estructura de la molécula similar pero con un alto contenido de azúcares neutros, principalmente galactosa y arabinosa. La dificultad de la extracción de la protopectina puede ser debida a los puentes ácidos o básicos que anclan a la protopectina en la matriz de la pared. Gran parte de las cadenas de protopectina se encuentran en la pared primaria y secundaria, el resto se encuentra en la lámina media. Mientras que las pectinas solubles en agua y en quelantes derivan de la lámina media (Van Buren, 1991; Walter, 1991).
- **Ácidos petínicos**, son ácidos poligalacturónicos con cantidades variables de grupos metilos esterificados con los grupos carboxilo del C6. Las sales de los ácidos pectínicos, son denominadas pectinatos. Tienen la propiedad de formar geles con azúcares, ácidos y cuando los contenidos de metilo son muy bajos tienden a formar geles con sales de calcio (Bravo, 1981; Kashyap y col., 2001).
- **Ácidos pécticos**, son galacturonatos que no contienen grupos metilos. También se les denomina ácidos poligalacturónicos. A las sales que

conforman se les llama pectatos o ácidos poligalacturonatos (Kashyap y col., 2001).

- **Pectinas**, constituyen aquellas sustancias pecticas de composición variable, cuyo componente principal son los ácidos pectínicos solubles en agua, de contenido de metoxilo y grado de neutralización variables. Poseen la capacidad de formar geles con azúcares y ácidos en condiciones adecuadas. Generalmente, presentan entre 60 a 70% de sus grupos carboxilos esterificados con metanol (Bravo, 1981; Kashyap y col., 2001).

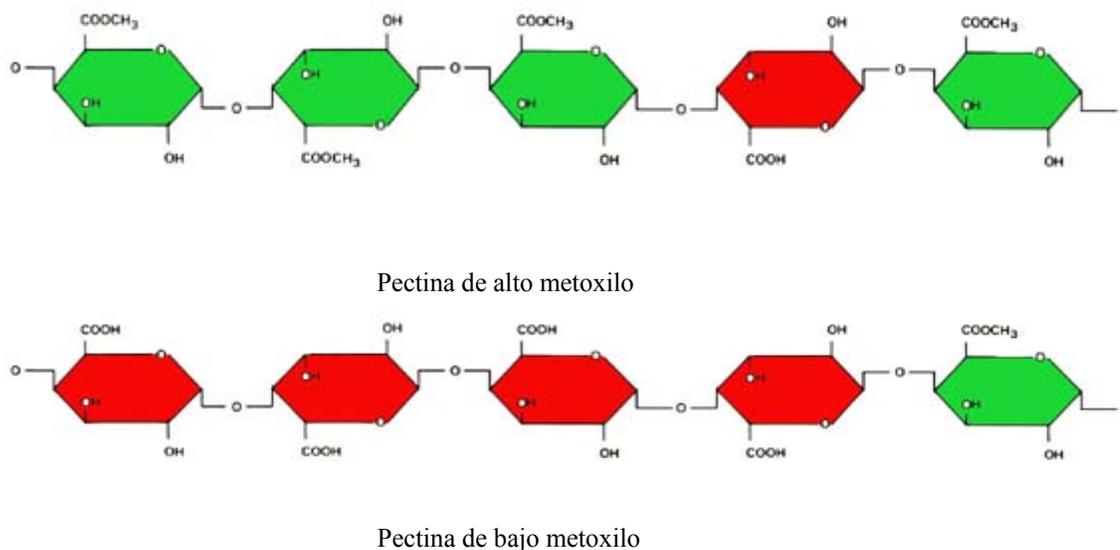
También se pueden clasificar las pectinas de acuerdo a su proceso de extracción de la pared celular en:

- **Pectinas solubles en agua**, son extraíbles en agua o soluciones salinas. Están conformadas primordialmente por homogalacturano y el ácido galacturónico está esterificado con alcohol metílico, variando el grado de esterificación de la pectina de acuerdo a su origen.
- **Pectinas solubles en quelantes**, extraíbles mediante soluciones de agentes quelantes de calcio como el EDTA (ácido etilendiaminotetracético), CDTA (ácido ciclohexanodiaminotetraacético) o hexametáfosfato de sodio. Su composición es muy similar a las pectinas solubles en agua; sin embargo, se diferencian en que pueden presentar un 2% de ramnosa, sustituyendo principalmente al ácido galacturónico en la cadena principal y de 10 a 20% de otros azúcares en las cadenas laterales.

### 2.5.4. Grado de esterificación

El grado de esterificación dependerá del origen de la pectina y del método utilizado para su extracción. En tal sentido, los grupos carboxilos de los ácidos galacturónicos presentarán un grado variable de esterificación con metanol y a su vez pueden estar parcial o completamente neutralizados por iones de sodio, potasio o amonio. En algunas pectinas, los grupos hidroxilos pueden estar parcialmente acetilados (Turquois y col., 1999).

El grado de metilación o esterificación constituye un factor importante para la caracterización y determinación de la aplicación de la pectina. Se puede definir como, el número de moles de metanol por 100 moles de ácido galacturónico. De acuerdo a este criterio, se pueden clasificar (Figura 4) en dos grupos:



**Figura 4.** Clasificación de las pectinas de acuerdo al contenido de metoxilos.

Fuente: [WWW.Bioquimicadealimentos\pectinas2\pectinas.htm](http://WWW.Bioquimicadealimentos\pectinas2\pectinas.htm).

- **Pectinas fuertes metiladas (HM)**, con un grado de esterificación (DE) superior a 50%, gelifica en un medio con un contenido de sólidos solubles (generalmente azúcar) superior al 55 %, a un pH entre 2.0 – 3.5. Este tipo de pectinas es común en la cáscara de la naranja.
  
- **Pectina débilmente metiladas (LM)**, con un grado de esterificación (DE) menor al 50%. Su gelificación se controla introduciendo iones calcio en el sistema y tiene lugar a pH: 2.5 a 6.5, en un medio con 10-20% de sólidos solubles. A su vez se pueden distinguir:
  - **Pectinas no amidadas**
  
  - **Pectinas amidadas**, son desmetoxiladas con amoníaco (Kimaball, 1999; Dominic y Wong, 1989; Devia, 2003).

Se piensa que inicialmente las pectinas se forman con un alto contenido de metoxilos pero este tiende a disminuir cuando se insertan en la pared celular y la lamina media. En general, las pectinas de los tejidos tienen un rango de metilación entre 60 y 90%. El grado de metilación tiene un papel importante en la firmeza y cohesión de los tejidos vegetales. La reducción del grado de metilación tiene como consecuencia un aumento de la cohesión, ya que la formación de grupos carboxilos libres aumenta la posibilidad de enlace entre polímeros (Van Buren, 1991).

Como ya se mencionó, en algunos casos las pectinas pueden estar acetiladas, puede ser que el 100% de los residuos de ácido galacturónico se encuentren acetilados con uno o más grupos acetilos por monosacáridos que conforman la cadena de la pectina, en cuyos casos se le determina el grado de acetilación (DAc) de las pectinas. Generalmente, los grupos acetilos se ubican en la región Rhamnogalacturonan I y Homogalacturonan (Sharman y col., 2006).

Una de las propiedades de la pectina de mucho interés en la industria de alimentos es su capacidad de formar geles en determinadas condiciones, cambios físicos o químicos que disminuyen la solubilidad de las moléculas de pectinas. El mecanismo de gelificación y las propiedades de los geles dependen directamente de factores como el pH, la temperatura y el grado de esterificación. Generalmente, las pectinas de elevada metilación tienden a formar geles en medios ácidos y en presencia de cantidades adecuadas de azúcar, mientras que las pectinas de bajo grado de esterificación forman geles en presencia de elementos alcalinos y calcio (Tuorquois y col., 1999).

### **2.5.5. Propiedades de las pectinas**

#### **2.5.5.1. Enlaces de calcio**

El calcio tiene la habilidad de formar enlaces complejos insolubles con los carboxilos libres de las cadenas de pectinas, formando así una red tridimensional (BeMiller, 1986), esta fuerte interacción se forma como consecuencia de la unión del calcio con los átomos de oxígeno de los grupos hidroxilos de la pectina, los cuales han sido descritos por Ress y col. (1982) citado en: Soriano (2004).

Para explicar la coagulación y gelificación de la pectina inducida por el calcio se ha propuesto la estructura de la caja de huevos, en la que los iones de calcio interaccionan iónicamente por coordinación con los átomos de oxígenos de dos cadenas adyacentes, originando un cruzamiento de cadenas (Figura 5) (Ress y col., 1982 citado en: Soriano, 2004). Generalmente, los enlaces cruzados de calcio son más estables en presencia de otros enlaces cruzados vecinos cooperativos. La máxima estabilidad se alcanza cuando están presentes de 7 a 14 enlaces cruzados

consecutivos. El calcio no tiende a coagular pectinas que presentan un grado de esterificación mayor a 60%, además, las concentraciones necesarias para coagular pectinas con bajo grado de metilación aumenta a medida que el peso molecular disminuye (Van Buren, 1991).

La formación de geles puede darse también como resultado de la interacción entre las cadenas poliméricas a través de puentes de hidrogeno o conexiones hidrofobias, formando como resultado una red tridimensional (BeMiller, 1986).

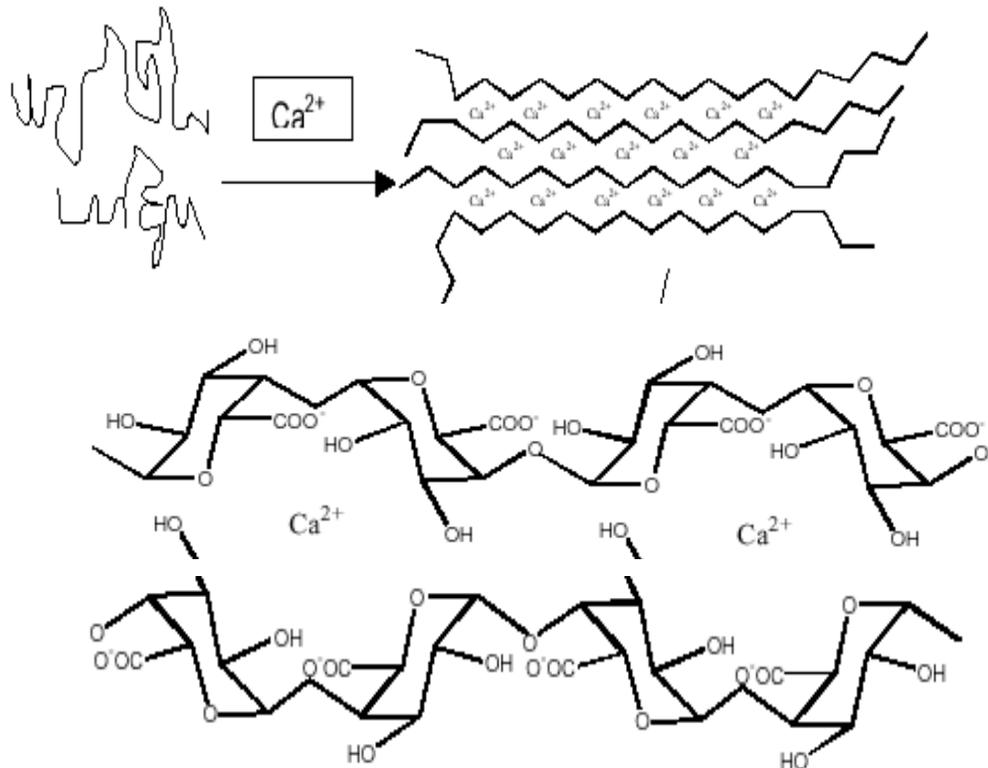
#### **2.5.5.2. La viscosidad y el peso molecular de la pectina**

La viscosidad de las pectinas de alto grado de esterificación depende de un número de variables tales como: grado de esterificación, longitud de la molécula, concentración de electrólitos, pH y temperatura (Pagán, 1995).

De igual manera, concentraciones diferentes de azúcar y el tipo de azúcar afectaran la viscosidad de manera diferente. Además, la viscosidad, tiende a aumentar marcadamente a medida que la temperatura se acerca a la temperatura de ebullición (Sharma y col., 2006).

El peso molecular de la pectina está muy relacionado con la longitud que tenga la cadena, y varía dependiendo de la fuente de origen y de las condiciones de extracción (Sharma y col., 2006; Pagán, 1995). Éste constituye una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en el proceso de gelificación. Sin embargo, la determinación precisa del peso molecular es muy difícil y costosa, debido a la heterogeneidad que tienden a presentar las muestras y parcialmente debido a la tendencia que tienen las pectinas a agregarse, aún bajo condiciones no favorables para la gelación; además, una descripción precisa

de los pesos moleculares necesita información sobre la distribución estadística de los tamaños moleculares (Pagán, 1995).



**Figura 5.** Representación esquemática del modelo caja de huevos para la gelificación de pectinas de bajo grado de esterificación.

Fuente: Goycoolea y Cárdenas (2001).

Owens y col.(1948) Citado por Pagán (1995); estudiaron sistemáticamente los pesos moleculares de las pectinas y su distribución por viscosimetría y determinaron que variaban entre 20.000 a 30.000 (g/mol).

Una propiedad muy útil de la viscosidad en las dispersiones de pectinas, consiste en la resistencia que puede ejercer la pectina sobre el flujo en relación al agua conteniendo un electrolito. El objeto de los electrolitos, es el de disminuir la

ionización de los grupos carboxilos de la pectina; en ese caso, la pectina pasa a ser un polímero neutro, en vez de comportarse como un electrolito con gran efecto electroviscoso (Pagán, 1995).

### **2.5.5.3. Gelificación de la pectina**

Desde el punto de vista de la tecnología alimentaria la capacidad de formar geles de las pectinas es una de las propiedades más importantes.

Como ya se explicó, los geles consisten en moléculas poliméricas con enlaces entrecruzados que dan forma a una red interconectada y tupida inmersa en un líquido. En geles de pectina y en los alimentos que contiene pectina, este líquido suele ser agua. Las propiedades que adquiere el gel serán el resultado de interacciones complejas entre el soluto y el solvente. La influencia del agua como solvente, la naturaleza y la magnitud de las fuerzas intermoleculares que mantienen la integridad del gel, permiten tener una gran capacidad de retención de agua.

Las pectinas de bajo contenido de metoxilo tienen la capacidad de formar geles en presencia de cationes divalentes, comúnmente calcio. Ese tipo de sistemas de gelificación se deben a la formación de zonas de uniones intermoleculares entre regiones homogalacturónicas iguales pero de diferentes cadenas de pectinas. La estructura de unión de zonas semejantes es generalmente atribuible a la estructura del modelo caja de huevos descrita por Ress y col. (1982), citado en: Soriano (2004).

La habilidad de formar geles de las pectinas de bajo contenido de metoxilo aumenta al disminuir el grado de metoxilación. Las pectinas de bajo contenido de metoxilo, con una distribución cerrada de grupos de carboxilos libres resultan muy sensibles a bajos niveles de calcio. La presencia de grupos acetilos restringe la

formación del gel con los iones de calcio, sin embargo, le transfiere a la emulsión de pectina propiedades estables (Sharma y col., 2006).

Por su parte las pectinas de altos contenidos de metoxilos, tienen la facilidad de formar geles con azúcar y adecuada proporción de ácido; por lo que se les denominan geles de baja actividad de agua o geles de azúcar-ácido y pectina. De tal manera, que un gel es considerado como se mencionó una red bidimensional de moléculas de pectina en donde el solvente (agua) con los solutos (ácido y azúcar) quedan inmovilizados. Esto resulta en un sistema resistente a deformaciones y generando una relación de fuerza tirante para pequeñas deformaciones.

El mecanismo de gelificación de las pectinas, esta principalmente determinado por el grado de esterificación (DE). Para las pectinas de bajo contenido de metoxilos ( $DE < 50\%$ ), la gelificación resulta de la interacciones iónicas no-covalentes entre grupos de residuos de ácido galacturónico de las cadenas de pectinas y con iones divalentes que usualmente contienen calcio. La afinidad de las pectinas con los iones de calcio tiende a aumentar cuando disminuye el grado de esterificación o la fuerza iónica y con el aumento de la concentración del polímero. Además, la influencia de la densidad de la cadena de polygalacturonato y la distribución modelo de los grupos carboxilos libres y esterificados tiene un importante efecto sobre la fuerza de unión de los iones de calcio (Sharma y col., 2006).

En base al tiempo de gelificación los geles de pectina se pueden denominar en “set rápido” y “set lento”; son designaciones referidas a la relación en que una estructura incipiente de jalea desarrolla una estructura a la temperatura de gelificación. El ritmo de gelificación genera influencia sobre la textura del producto. El ritmo de gelificación tiende a disminuir cuando disminuye el grado de esterificación (Herbstreith & Fox Corporate Group, sf.)

De acuerdo a Pagán, 1995, los factores del medio más importantes que condicionan la formación de un gel son, la temperatura, pH, el azúcar y otros solutos y los iones de calcio.

- **Temperatura:** cuando se enfría una solución caliente que contiene pectina las energías térmicas de las moléculas decrecen y su tendencia a gelificar aumenta. Cualquier sistema que contenga pectina, tiene un límite superior de temperatura por encima del cual la gelificación nunca ocurrirá. Por debajo de estos niveles de temperatura crítica, las pectinas de bajo metoxilo gelifican instantáneamente, mientras que la gelificación de las de alto metoxilo depende del tiempo. Las pectinas de bajo metoxilo tienden a ser termorreversibles.
- **pH:** la pectina es un ácido con un pK de unos 3,5. Presenta un alto porcentaje de ácidos disociados respecto a los no disociados, esto hace a la pectina más hidrofílica. Por lo que, la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al disminuir el pH. Lo podemos evidenciar, en las pectinas de alto metoxilo, que generalmente requieren un pH de 3,5 para lograr gelificar.
- **Azúcares y otros solutos similares:** Tienen la capacidad de deshidratar la molécula de pectina que se encuentra en solución. Al tener mayor cantidad de sólidos en suspensión, menos cantidad de agua estará disponible para actuar como disolvente de la pectina y por lo tanto la tendencia a gelificar se ve favorecida. Las pectinas de bajo contenido de metoxilos pueden gelificar a cualquier valor de sólidos solubles.
- **Iones de Calcio:** las pectinas de bajo contenido de metoxilo desesterificadas, requieren de considerables cantidades de calcio y un rango estrecho de dicha catión para una óptima gelificación. Generalmente, un aumento en la

concentración de calcio implica un aumento en la fuerza del gel y también un aumento en la temperatura de gelificación (Herbstreith & Fox Corporate Group, sf.).

#### **2.5.5.4. Extracción de pectinas**

Existen una gran cantidad de frutas que constituyen una buena fuente de pectinas de alta calidad, como la manzana, y algunos cítricos, como el limón, toronja y lima, grosellas, arándanos, uvas, guayabas, ciruelas, frambuesas, entre otras. De manera general, las frutas sobremaduras son deficientes en pectinas.

La cantidad de material péctico que se puede obtener varía con cada fruta, con los tejidos de esa fruta en particular y su estado de madurez. La cáscara, el área central, y el albedo (en el caso de las frutas cítricas) son las fuentes más ricas en pectina (Charley, 1997).

Generalmente los procedimientos de fabricación se basan en una hidrólisis, separación y la recuperación. Sin embargo, existen diversos procesos que se citan en la literatura para obtener pectinas, y dependiendo de cada uno de ellos se obtendrán productos con características diferentes que determinaran su calidad, es decir, el método de obtención influye sobre el tipo de pectina a obtener (Devia, 2003; Sharma y col., 2006).

A nivel industrial las pectinas se extraen mayormente de cítricos y manzanas mediante agua acidulada en caliente. Las condiciones de extracción que suelen aplicarse son, rangos de pH entre 1,5 – 3,0 y temperaturas que varían de 60 a 100 °C por 0,5 a 6 horas; las variaciones se ajustan dependiendo de las propiedades que se desean obtener en la pectina a extraer. El problema que suele presentarse, se debe en

lograr el desprendimiento de la pectina del material vegetal. Para alcanzar una mayor extracción se suelen moler y aplicarle presión al material vegetal, posteriormente se filtra y el extractante se hace precipitar con etanol. Sin embargo, esto ocasiona una coprecipitación de las proteínas intercelulares, almidones y ácidos nucleicos (Sharman y col., 2006; Devia, 2003).

La ventaja de realizar la extracción de pectinas con ácidos diluidos en caliente y posteriormente precipitarlas en alcohol, reside en que el producto obtenido puede ser convenientemente modificado a pectinas de alta metoxilación, usando tratamientos con ácidos, o a pectinas de baja metoxilación con tratamientos de amoníaco. Sin embargo, presenta la desventaja de que el aporte de hidrógenos tiende a reforzar los puentes de hidrogeno entre los componentes que constituyen la pared celular del material vegetal, lo cual dificulta el proceso de extracción de las pectinas (Sharman y col., 2006; May, 1990).

Otros métodos de extracción citados en las referencias bibliográficas consultadas se tienen:

- Un proceso patentado (U.S.Patent 6, 207,194 y U.S. Patent 6, 159,503), el cual consiste en transformar la materia prima en una sal cálcica de la pectina en un medio líquido, posteriormente se seca y así obtener un pectinato.
- La pectina también puede hidrolizarse y extraerse del tejido vegetal sin necesidad de adicionar ácido. De esta manera se logra obtener pectinas con un alto contenido de metoxilos, que luego son recuperadas por concentración y secado.

- Existe un método, el cual consiste en poner la materia prima en contacto con una proteína comestible, soluble en agua para solubilizar la pectina, y luego precipitarla con ayuda de un solvente.
- Utilizando la bitemología se pueden preparar pectinas, el mismo consiste en someter el tejido vegetal que contiene las sustancias pécticas a la acción de microorganismos (del género *Bacillus* y del género *Aspergillus*), la actividad que realizan permite la liberación y recuperación de las pectinas (Devia, 2003).
- Se ha reportado, que se pueden obtener pectinas de buena calidad a partir del material vegetal aplicándole presión y con calentamiento por microondas (Devia, 2003).
- También pueden ser extraídas utilizando enzimas, como las enzimas galacturonasas, presenta la ventaja de conservar intactos el “flavor”, los pigmentos y los compuestos activos celulares (Pagán, 1995).

Las tecnologías para extraer las pectinas han sufrido algunos cambios, con la finalidad de minimizar costos, mejorar la calidad de las pectinas obtenidas y adecuar los procesos a las normativas ambientales; ésta fue una de las causas por las que de ser una gran potencia productora de pectinas, los Estados Unidos de Norte América paso a ser un importador de la mayor parte de su demanda de pectinas, la cual es suplida por Europa. Algunos autores afirman que en el futuro América Central y del Sur, con el crecimiento de su industria de procesamiento de frutas y jugos, (ver tabla 5) tendrá un papel importante, con la colaboración técnica de las industrias productoras de pectinas existentes (May, 1990).

## 2.6. Aplicaciones de las pectinas

Gran parte de la importancia de este aditivo en la industria de alimentos se debe a sus propiedades espesantes y gelificantes en productos tales como: gelatinas, mermeladas, jaleas, gomas, usos en repostería, conservas vegetales y productos lácteos, (Coultrate, 1996; Berlitz y col., 1988); sus usos están relacionados en gran parte con la composición de las pectinas (Tabla 5). Actualmente las pectinas también se utilizan como fibras nutricionales y para la producción de proteína unicelular (Alkorta, 1998). Recientemente, se ha incrementado su utilización tanto como fuente de energía, como de materia prima para procesos industriales (Pérez y col, 2000).

Las pectinas se utilizan también en el sector farmacéutico como agentes detoxificantes, siendo conocidas por sus efectos antidiarréicos, gastritis y ulcera (Pagàn, 1995; Hoondal y col., 2002). La pectina en forma de carbohidrato coloidal actúa como lubricante en los intestinos al recubrir la mucosa con polisacáridos y promover el peristaltismo sin causar irritación, siendo adecuada como aditivo en la comida de bebés. La pectina reduce la toxicidad de algunos fármacos y prolonga su actividad sin disminuir los efectos terapéuticos. Los microglóbulos de pectina gelatinizada pueden también utilizarse en quimioterapia de cánceres localizados como sistema de liberación intravascular de fármacos (Hoondal y col., 2002).

Además, tiene otras aplicaciones en otros campos que se pueden mencionar: uso en odontología, en productos cosméticos, manufactura de cigarrillos, medios de cultivo en microbiología, conservación del suelo y en alimentación animal (Endress, 1991).

La pectina es en efecto, algo más que un coloide que puede ser usado para elaborar mermeladas y jaleas. Resulta un aditivo versátil y sin peligro para la salud

que es extraído de fuentes naturales, lo que le otorga una gran ventaja al compararlo con otros aditivos alimentarios (May, 1990).

**Tabla 5.** Composición de las pectinas extraídas de algunas fuentes determinadas

Componentes	Pulpa de caña de azúcar (p/p)	Manzanas (p/p)	Cáscaras de cítricos (p/p)	Vaina de los guisantes (p/p)
Ramosa y fucosa	1,1	1,5	1,3	0,9
Arabinosa	17,3	8,0	6,4	4,2
Xylosa	1,5	5,5	2,4	14,6
Manosa	1,5	1,8	2,2	1,0
Galactosa	4,3	5,0	3,2	1,2
Glc	21,7	27,9	19,6	45,1
Ácido galacturónico	18,9	25,2	26	12,7
Metanol	2,3	2,2	-	0,5
Etanol	3,6	2,0	-	1,0
Proteínas	8,0	5,7	-	3,8
Lignina	1,8	-	-	-
Cenizas	8,4	2,0	-	1,7

Fuente: Sharma y col. (2006).

## 2.7. Producción mundial de pectinas

La producción mundial de pectina se estima en unas 35.000 t anuales para el 2005. Cada año los Estados Unidos importa más de siete millones de libras de pectina con un costo de \$ 6 a \$ 12 por libra (Natraceutical, 2006), siendo el consumo diario de unps 4 a 5 g de pectina (Milskelsen, 2006). En el Argentina se importan unas 400 t anualmente (La voz del interior, 2006). En Venezuela, se reseña en la bibliografía que se importa toda la pectina que se utiliza en la industria de alimentos (Camejo y col., 1990 a). Esto indica la importancia no solo a nivel de aditivo, si no a nivel económico

con los costos que se podrían ahorrar si existiera la factibilidad de obtener pectinas de calidad para ser usadas en la industria venezolana.

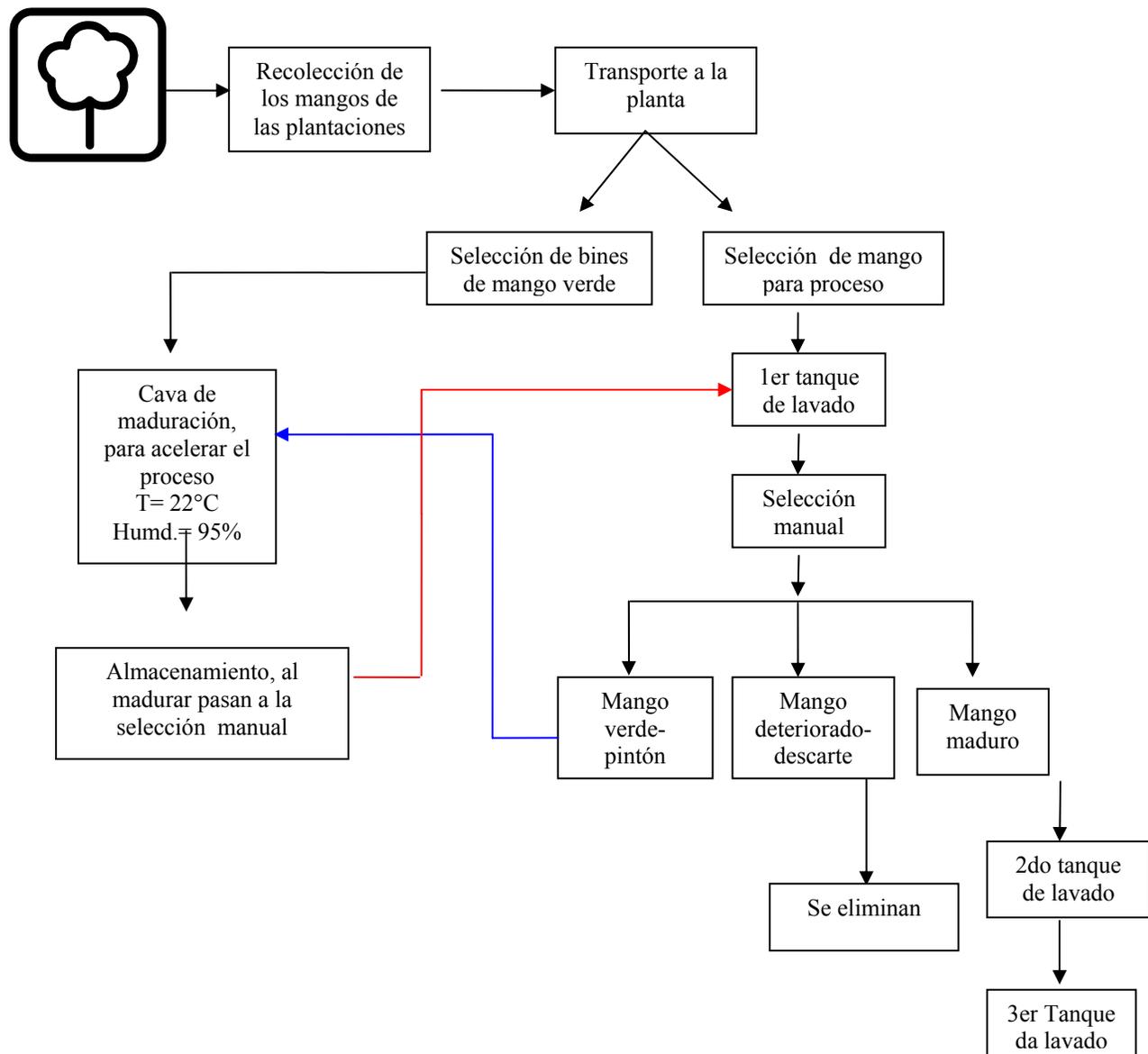
## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Materia prima**

Se utilizaron las cáscaras obtenidas del proceso del despulpado del mango (*Mangifera indica* L.), de las variedades Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado, provenientes de las plantaciones de la empresa Frutorca C.A., en la vía Campo Mata, sector Barbonero del estado Anzoátegui, Venezuela. Los frutos fueron cosechados en mayo de 2007, utilizando varillas con ganchos metálicos. Se colectaron unas 50 toneladas por día aproximadamente, iniciando el proceso de despulpado al tener almacenada unas 200 toneladas, lo cual permitió unos tres días de procesamiento continuos; ya que se el procesamiento esta establecido para procesar unas 81 toneladas por día. Cabe señalar que las muestras obtenidas estaban conformadas por una mezcla de las cáscaras de las variedades de mango mencionadas.

Al contar con el volumen adecuado para iniciar el proceso de despulpado en la planta de la empresa Frutorca C.A., se realizó una primera selección de los mangos, para lo cual, los bines con mangos maduros fueron vertidos en el primer tanque de lavado (agua + 0,5 ppm de cloro) y los que se encontraban aun algo verdes se colocaron en cavas de maduración con etileno. Los mangos provenientes de los bines seleccionados pasaron a la selección manual, los mangos seleccionados como maduros fueron llevados directamente al segundo tanque de lavado con agua caliente 50° C + 0,5 ppm de cloro. Aquellos mangos dañados fueron descartados y los que se observaban pintones transportados a la cava para maduración. Los mangos del segundo tanque de lavado seguían el proceso en la línea y fueron pasados al tercer tanque de lavado solo con agua caliente a 50° C. Tal como se indica en la Figura 6.

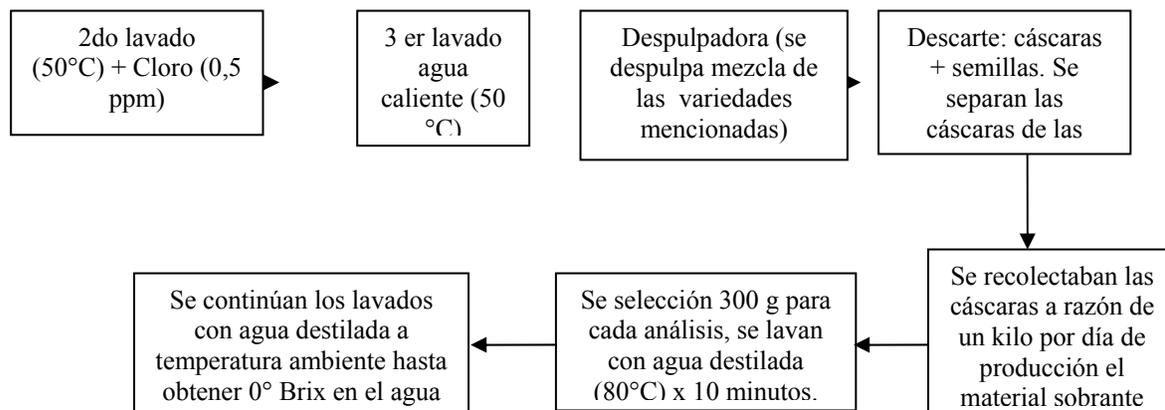


**Figura 6.** Esquema tecnológico para la recolección y selección de los frutos de mango

### 3.2. Obtención y preparación de la muestra

Las muestras se recolectaron directamente de la banda transportadora que llevaba los residuos frescos (cáscaras y semillas del mango) de la despulpadora a los camiones de recolección de descarte de producción; se recogieron las cáscaras en bolsas plásticas a razón de un kilogramo por día, descartando la semilla; con la finalidad de contar con suficientes cáscaras de mango para realizar el ensayo con sus tres replicas, y el sobrante se guardó en las cavas de refrigeración (8- 10 °C) para trabajar al día siguiente. Es importante señalar que algunas de las muestras provenían de mangos madurados en campo y las otras de combinaciones de mangos madurados en cava y campo, y en ambos casos eran mezclas de las variedades (Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado). Figura 6, anteriormente mostrada.

Como los lotes de mango procesados se habían sometido previamente a un lavado con agua caliente (50°C) + Cloro (0,5 ppm), esto garantizó que las muestras para ensayo se encontraron libres de suciedad, microorganismos (levaduras y mohos) y otros (Devia, 2003). Sin embargo, se lavaron nuevamente con agua destilada a unos 80 °C por unos 10 minutos, con la finalidad de inactivar las enzimas pectinesterasas que hidrolizan los grupos éster metílicos, liberando metanol y generando pectinas de menor grado de metoxilación; inactivando también las poligalacturonasas, que tienden a romper el enlace glucosídico entre moléculas galacturónicas, despolimerizando la cadena a fracciones más cortas (Camejo y col., 1990 a; Carbonell y col., 1990; Ferreira y col., 1995), los lavados se continuaron con agua destilada a temperatura ambiente hasta que no se detectaron sólidos solubles, es decir, hasta obtener una lectura de 0° Brix utilizando el refractómetro en el agua de lavado (Camejo y col., 1990 a; Carbonell y col., 1990). Figura 7.



**Figura 7.** Esquema tecnológico despulpado del mango y recolección del descarte (cáscaras) para la preparación de la muestra

### 3.3. Extracción de la pectina

La extracción de la pectina se efectuó de acuerdo al esquema de la Figura 8. Para ello, se tomaron 300 gramos en cada ensayo (100 g por repetición) de manera aleatoria del material seleccionado en el proceso. Después de ser preparada la muestra como ya se describió anteriormente, la misma fue troceada en pedazos más pequeños (de unos 10-15 mm de largo) para facilitar la extracción, ya que se aumenta el área superficial de contacto (Devia, 2003). Para la extracción se utilizó ácido cítrico anhidro (de 99,7 % de pureza en polvo BP93/BP98/E330) a diferentes concentraciones para ajustar los rangos de pH establecidos en el diseño experimental (pH: 1,5; pH: 2,0; pH: 2,5). El ácido cítrico fue diluido para cada rango de pH en una proporción 1:3 de la muestra, es decir en 300 mL de agua destilada a temperatura ambiente por cada 100 g de muestra, se verificó el pH con el uso del pHímetro marca Hanna modelo HI9024C para cada rango de pH a evaluar; seguidamente se sometió a un calentamiento a una temperatura de unos 85 °C, en una olla de aluminio sobre una

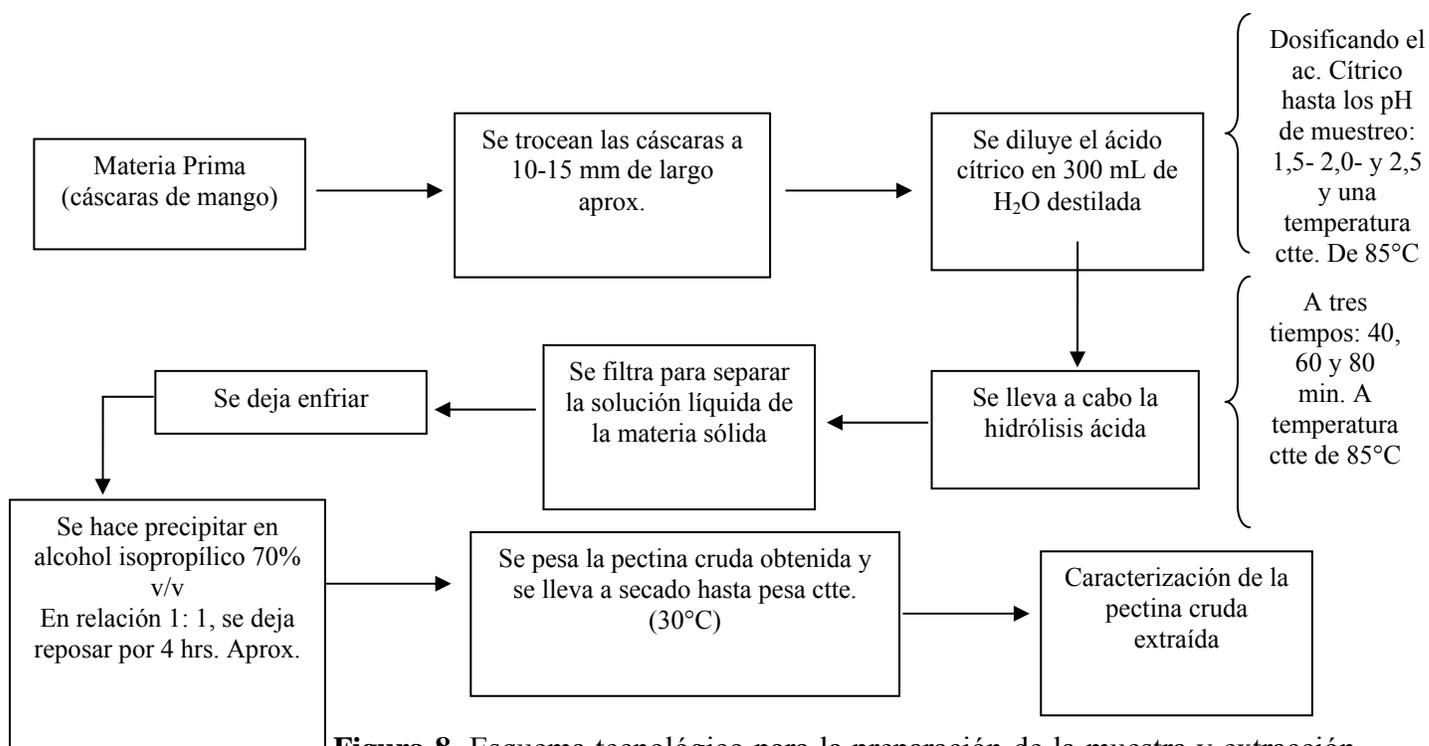
cocinilla eléctrica con agitación manual continua, con el propósito de disociar la protopectina en pectina soluble (Camejo y col., 1990 a; Linden y Lorient, 1994). Este proceso de calentamiento o hidrólisis ácida en caliente se realizó a tres tiempos, 40, 60 y 80 minutos para cada rango de pH (1,5; 2,0; 2,5). Posteriormente se filtró con ayuda de un liencillo para lograr separar el material sólido de solución líquida (Devia, 2003; Kimball, 1999; Pagán, 1995; Ferreira y col., 1995).

### **3. 4. Precipitación y recuperación de la pectina**

A la solución que se obtuvo en el paso anterior, después de enfriarse se le agregó alcohol isopropílico al 70% v/v en una relación de 1:1 y se dejó reposar por 4 horas aproximadamente para que se formará el coágulo de las pectinas que son insolubles en el alcohol (Pagán, 1995; Ferreira y col., 1995; Chiang Mai, 2006), una de las ventajas de precipitar las pectinas con alcohol es que no dejan residuos en las mismas (Devia, 2003; Kimball, 1999). Después de obtener el coágulo, se procedió a filtrarlo con un colador de malla fina y liencillo; al filtrado se le agrega un poco más de alcohol y se re-filtró, se dejó escurrir para eliminar la mayor cantidad de solución del coágulo de pectina insoluble en alcohol.

A continuación, se pesó el coágulo fresco en la balanza analítica y se procedió a secarlo en el desecador automático con corriente de aire a 30 °C hasta obtener un peso constante (Pagán, 1995; Ferreira y col., 1995; Chiang Mai, 2006). Al ser retiradas de la estufa, se dejaron reposar en el desecador para posteriormente registrar el peso de la muestra de pectina seca insoluble en alcohol, con la finalidad de reportar los valores de % de pectina “Cruda” extraída.

Todas las muestras secas obtenidas fueron almacenadas en bolsas plásticas con cierre hermético en un ambiente seco y fresco para conservarlas herméticamente y en buen estado para los análisis posteriores. Figura 8.



**Figura 8.** Esquema tecnológico para la preparación de la muestra y extracción de la pectina

### 3.5. Caracterización de la pectina cruda obtenida

Para la caracterización de la pectina se consideró evaluar algunos parámetros fisicoquímicos valorados por el Food Chemical Codex (FCC) para pectinas comerciales (JECFA, 1981).

Con tal fin, se ejecutaron los análisis de humedad, cenizas, peso equivalente, grado de esterificación, contenido de metoxilos, contenido de ácido galactúronico y

rendimiento de la pectina; por lo que la calidad de dichas pectinas se trató de definir relacionando los valores obtenidos de los parámetros evaluados.

**Rendimiento:** las pectinas obtenidas una vez secas, se les procedió a determinar el rendimiento a cada pH (1,5; 2,0 y 2,5) y tiempos de hidrólisis (40, 60 y 80 minutos) ensayados, para ello se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de pectina} = \frac{\text{g de pectina obtenida} \times 100}{\text{g de pectina obtenida}}$$

**Humedad:** el contenido de humedad en las muestras de pectina obtenidas fue determinado mediante secado en un desecador automático (termostabil C2) con circulación de aire, a 30°C hasta obtener un peso constante. (Hart y Fisher, 1984).

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final} \times 100}{\text{Peso inicial}}$$

**Cenizas Totales:** se estimaron según el método general descrito por Hart y Fisher, (1984). Para la determinación de cenizas totales se pesaron 2 g de cada una de las muestras de pectinas obtenidas a cada uno de los valores de pH y tiempos de hidrólisis establecidos para el ensayo. La fuente de calor o muffle donde se realizó la incineración se reguló a 550 °C, hasta que las cenizas adquirieron un color blanco o grisáceo.

El porcentaje de cenizas totales se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Cenizas totales} = \frac{\text{Peso de las cenizas} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

**Cenizas insolubles en ácido:** las mismas fueron obtenidas apoyándose en las metodologías descritas por Less, (1984) y Kimball, (1999). Para ello se utilizaron las

muestras de cenizas de las incineraciones anteriores, las cuales se hicieron reaccionar con 25 mL de ácido HCl diluido, luego se hirvieron en baño de maría por unos 5 minutos, se lavó con agua destilada caliente el excedente de HCl. Posteriormente las cenizas fueron colocadas en un papel de filtro previamente tarado. Al producirse la completa incineración de las cenizas se enfriaron en un desecador, para proceder a pesar las cenizas remanentes (cenizas insolubles en el ácido).

$$\% \text{ Cenizas insolubles en ácido} = \frac{\text{Peso del material residual} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

**Acidez Libre:** para su medición se empleó una dilución preparada con 0,5 gramos de pectina seca en 100 mL de agua destilada, la cual se colocó en baño de maría a 70 °C hasta reducir un poco el volumen, luego se tomaron 20 mL para ser titulados con NaOH 0,1 N utilizando fenolftaleína al 1% como indicador, hasta alcanzar el punto final (Less, 1984). Para expresar los resultados en términos de meq de carboxilos libres.

**Peso equivalente:** se determinó usando el volumen de NaOH gastado para valorar la acidez total titulable, considerando que en el momento que el indicador (fenolftaleína) vira de color de rosado pálido a azul se ha logrado la neutralización, y se igualan los números de pesos equivalentes del componente ácido (pectina) y la base (NaOH). Posteriormente se relacionaron el peso de la muestra utilizada (0,5 g) y los equivalentes de NaOH gastados en la titulación.

**Determinación del grado de esterificación:** se calculó basándose en el método de valoración de Schultz, (1965). Para ello se consideró como valoración A el volumen gastado de NaOH 0,1 N durante la acidez titulable en la muestra ensayada. Seguidamente, se añadieron 20 mL de NaOH 0,5 N y se dejaron reposar por 30 minutos hasta que ocurrió la deesterificación de la pectina. A continuación se

agregaron 20 mL de HCL 0,5 N para neutralizar el NaOH. Finalmente la dilución se valoró con NaOH 0,1 N (valoración B).

**El grado de esterificación (DE) se calculó mediante la siguiente formula** 
$$= \frac{B}{A + B} \times 100$$

**Contenido de metoxilos:** se basó en las determinaciones de la Valoración B del grado de esterificación (Ferreira, 1976), y se calculó por medio de la fórmula:

$$\% \text{ Me} = \frac{\text{meq de hidróxido de sodio} \times 31 \times 100}{\text{Peso de la muestra (mg)}}$$

Donde 31 es el peso molecular del metoxilo ( $\text{CH}_3\text{O}^-$ )

**Contenido de ácido Anhidrouónico:** se fundamenta en el método de valoración de Schultz, (1965); descrito en el “ítem” de determinación del grado de esterificación, de esta manera se establecieron los carboxilos urónicos esterificados y los carboxilos totales de urónicos; el ácido anhidrouónico se calculó mediante la formula descrita por Mc Comb and Mc Cready (1957),

$$\% \text{ AUA} = \frac{176 \times 100 \times \text{carboxilos totales de urónicos (meq-g)}}{1000}$$

Ácido anhidrouónico (AUA) peso equivalente = 176

**Determinación de la consistencia de los geles preparados con las muestras de pectinas obtenidas:** Se llevó a cabo con geles preparados de las muestras de pectinas obtenidas a pH 1,5 y tiempos de hidrólisis de 40 y 80 minutos, y a pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos, ya que éstas fueron las muestras que presentaron mayor rendimiento de pectina; el resto de las muestras no se ensayaron por no contar

con suficiente muestra para el mismo. Para ello, se prepararon 100 g de gel con las muestras de pectinas señaladas, dosificándolo de la siguiente manera: 15% de azúcar refinada, 5% de la pectina obtenida y 80% de pulpa de mango; se llevó a cocción en una cocinilla eléctrica a temperatura entre 85°C, la cocción se realizó hasta obtener una consistencia espesa y evaluando los grados Brix. La consistencia de gel obtenido fue determinada con el consistómetro de Bostwick, y reportando las lecturas del recorrido de la muestra en cm en el tiempo determinado de 30 segundos.

### **3.6. Análisis estadístico:**

Los resultados obtenidos se analizaron utilizando el paquete estadístico Stargraphic versión 5.1 empleando un nivel de confianza del 95%, usando un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 3x3 para las variables pH y tiempo de hidrólisis, respectivamente; implicando tres repeticiones por combinación de tratamientos. Los resultados se expresaron como media y desviación estándar, a los cuales se les aplicó el análisis de varianza y las pruebas de diferencias mínimas significativas de Bayes a las fuentes de variación que resultaron significativas.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Rendimiento de cáscaras de mangos del proceso del despulpado del mango**

Los residuos vegetales (cáscaras y semillas) procedentes del procesamiento industrial del mango, se estima que pueden alcanzar un 50% del volumen total de mango procesado. En consecuencia, debido a estos grandes volúmenes que se generan se consideran diversas posibilidades para su uso. Por ello, uno de sus principales usos es para alimentación animal. En este ensayo se evaluó la posibilidad de utilizar dichos residuos para la obtención de pectinas para la agroindustria; el proceso de selección de las cáscaras se realizó de manera manual directamente de la banda transportadora de los desechos, con la finalidad de separar las semillas y recolectar solo las cáscaras. Este proceso resulta sencillo y se calculó que se pueden obtener unas 2 Tn de cáscara por hora durante una producción continua, es decir, a partir del procesamiento de unas 4 Tn de materia prima de mango. Se considera que a futuro esta operación puede ser mejorada y adecuada para aprovechar estos residuos por separado.

#### **4. 2. Extracción de la pectina en medio ácido utilizando ácido cítrico como medio extractante y alcohol isopropílico al 70% v/v para la precipitación**

El ácido cítrico utilizado para lograr la extracción de la pectina, en el proceso de hidrólisis ácida en caliente, permitió obtener la pectina soluble. Sin embargo, se debía mantener un constante monitoreo del pH durante el proceso, debido a que el proceso de hidrólisis ácida de las muestras de las cáscaras de mango con el ácido cítrico se realizó en una olla de aluminio, lo cual influía en los rangos de pH

establecidos, ya que el ácido cítrico tiende a formar sales con iones metálicos, los cuales resultan buenos controladores del pH. Las muestras de pectina que se obtuvieron usando ácido cítrico, resultaron de color oscuro (ámbar oscuro), presentándose como láminas de textura gelatinosa o pegajosa, de difícil secado y molienda. No se pudo establecer si esta característica que adquirieron las muestras de pectina que limitaba su secado estaban asociadas al tipo de ácido cítrico utilizado, ya que el ácido cítrico en su forma anhidra tiende a formar pequeños cristales al estar en agua caliente que pueden retener más humedad. Sin embargo, a pesar de que con la extracción con ácido cítrico se obtiene menos volumen de filtrado de pectina diluida (claro y transparente), resulta más conveniente por ser menos tóxico y de probado uso agroindustrial.

Para lograr la precipitación de la pectina de las soluciones conseguidas del filtrado proveniente de la hidrólisis ácida de las muestras de cáscaras de mango con el ácido cítrico; los coágulos de pectina que se obtuvieron era poco firmes y al separarlos de los excedente de sus soluciones se perdían aquellos conglomerados muy pequeños que pasaban por el filtro de lincillo, en gran parte se debió a que el alcohol utilizado era menos concentrado del lo que se usa normalmente para este proceso. Además, el uso del alcohol como precipitante, incluyó algunos inconvenientes como pobre recuperación del mismos, alto consumo de alcohol para lograr la precipitación de la pectina. Sin embargo, es de fácil consecución y manejo.

#### **4.3. Establecimiento de las condiciones de ensayo en las muestras donde se obtuvo mayor rendimiento de pectina**

En la Tabla 7 se muestran los rendimientos en pectina cruda seca obtenida de las cáscaras del mango para cada uno de los valores de pH y tiempo de hidrólisis considerados en los ensayos, es este apartado se consideró la influencia de cada uno

de ellos y de la interacción entre ambos a una temperatura fija de 85°C. Puede notarse que se consiguieron mayores rendimientos de pectina cruda seca en la extracción a pH 1,5; es decir, a menor pH mayor volumen de pectina obtenida por gramos de cáscaras de mango y sin diferencias significativas ( $p \geq 0,005$ ) considerando los tiempos de hidrólisis; los menores valores de pectina se obtuvieron al incrementar el pH a 2,5; mientras que a pH 2,0 los valores obtenidos presentaron menos variación. Los resultados obtenidos del análisis de la varianza determinaron que no existen diferencias significativas entre la interacción del pH x el tiempo de hidrólisis, tampoco para los tiempos de hidrólisis evaluados; sin embargo, se determinó que los rangos de pH presentaron diferencias significativas, lo que permite establecer que a tiempos de hidrólisis y temperatura constante una disminución del pH aumenta significativamente el volumen de pectina obtenida. De igual manera se aprecia, que a medida que aumenta el tiempo de extracción tiende a aumentar el % de pectina extraída hasta llegar a un valor máximo, sin embargo en el análisis de la varianza no se observó diferencias significativas entre estas variables (Tabla 6).

**Tabla 6.** Anava del rendimiento de las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mango

F. de variación	Gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	1,2474	0,6237	0,1332 ns
pH	2	63,6274	31,8137	6,7948*
Tiempo	2	13,2585	6,6293	1,4159 ns
pH x Tiempo	4	3,8037	0,9509	0,2031 ns
Error	16	74,9126	4,6820	
Total	26	156,8496		

Número de réplicas = 3, Número de tratamientos = 9

F tabulado (2,16) = 3,63, F tabulado (4, 16) = 3,01;  $\alpha = 0,05$

**Tabla 7.** Rendimiento de la pectina cruda obtenida de las muestras de cáscaras de mango

pH	Tiempo de Hidrólisis (min.)	Pectina Seca Obtenida (%)	Promedio (**)	Ámbito (DMSB)
1,5	40	6,13 ± 2,04	6,39	a
	60	5,63 ± 1,13		
	80	7,43 ± 1,59		
2,0	40	3,33 ± 1,46	4,14	b
	60	4,37 ± 0,462		
	80	4,73 ± 1,82		
2,5	40	1,40 ± 1,01	2,66	c
	60	2,80 ± 1,99		
	80	3,80 ± 1,90		

(\*\*) = El promedio se calculó considerando el rendimiento obtenido a los valores de pH establecidos para el ensayo

Los valores están expresados como media ± desviación estándar

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, de acuerdo a la prueba de diferencias mínimas significativas de Bayes (DMSB) = 0,09

Coefficiente de variación (%CV) = 12,50%, lo que nos indica que la variabilidad fue controlada por el diseño.

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) = 0,52 en un 52% esta asociado el rendimiento de pectina obtenido con el pH.

Tal como se aprecia en la Tabla 7, el mayor rendimiento en pectina se obtuvo a pH 1,5 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos (condiciones más rígidas), lográndose 7,43 % en pectinas a partir de muestras de cáscaras de mangos de las variedades: Haden, Bocado, Tommy Atkins, Smith. Si se compara este valor con los reportados por la literatura, se puede ver que Salazar y col. (1987), consiguen para las variedades Haden rendimientos de 6,73%; de igual manera, Buitriago (1998), logro obtener para las variedades Haden y Bocado valores de 22,21% y 20,07% de rendimiento en

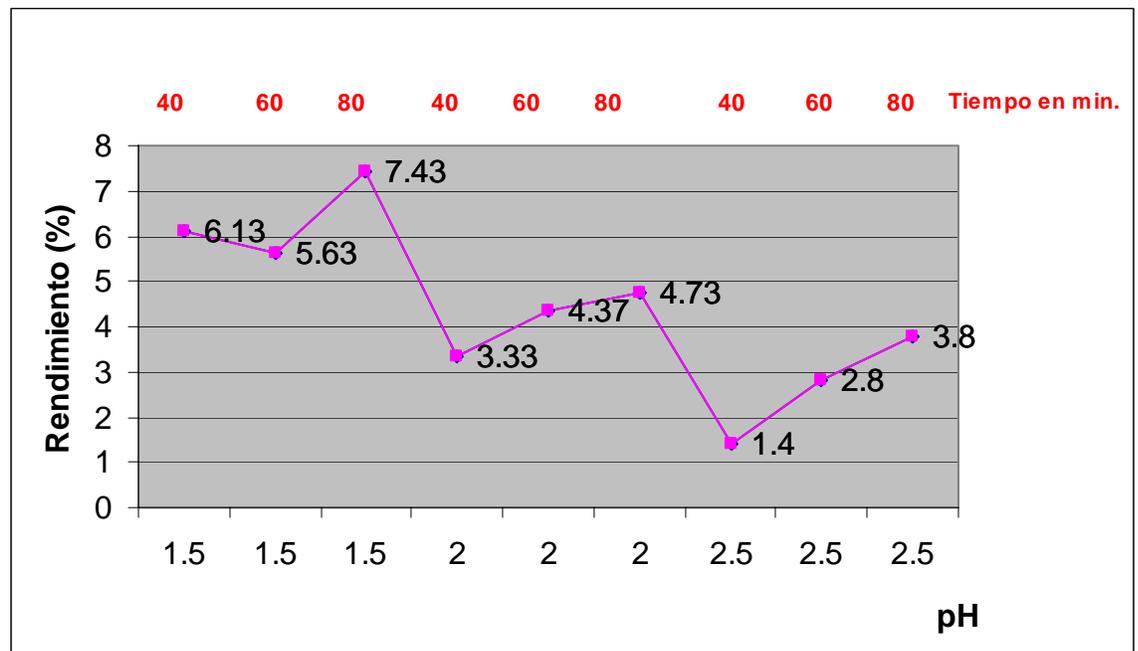
extracción en caliente respectivamente. A su vez, Gaeta (1999), señala que para el mango Smith pudo obtener un rendimiento de 33,04% en pectina purificada; Schieber y col. (2004), señalan que alcanzaron obtener para los mangos variedades Tommy Atkins y Haden 19,2 y 17,6 % respectivamente; por su parte, Villalobos, 1990, señala rendimientos de 1,85-3,58 por ciento de pectina en base seca utilizando mangos de las variedades Kent, Keitt, Smith y Criollo Común. Pedroza y col. (1994), realizaron extracciones de pectina de la piel del mango considerando dos metodologías, a) pH: 2,5, tiempo de extracción de 30 minutos y una relación de sustrato: solución ácida de 30: 70 respectivamente, con la que lograron obtener 4,26 % de rendimiento, la segunda metodología que consideraron, implicaba pH. 3,0, tiempo de extracción de 60 minutos y una relación sustrato solución-ácida de 20:80, reportando un rendimiento de pectina de 6,43%. Ferreira y col. (1995), consiguieron rendimientos de 1,40 a pH 3,4 en base húmeda.

#### **4.4. Condiciones de pH y tiempos de hidrólisis más adecuados para la extracción de pectinas a partir de las cáscaras de mangos**

En el Gráfico 1 se puede apreciar que a menor pH y mayor tiempo de hidrólisis se obtiene un mayor rendimiento de pectina seca. El valor de mayor rendimiento se logró a pH 1,5 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos.

Como se puede detallar existen ciertas variaciones entre los resultados obtenidos y los reportados en los trabajos citados anteriormente, se considera que tales discrepancias se pueden deber a: las diferencias en las variedades evaluadas, estado de madurez, cantidades de muestra considerada, así como, los métodos de extracción, considerando tiempo de hidrólisis, pH, tipo de extractante, relación entre el sustrato y la solución ácida utilizada como extractante y alcohol utilizado para la precipitación. Sin embargo, se lograron obtener valores muy cercanos a los

reportados por algunos investigadores, lo que permite inferir que una adecuada relación entre los factores de extracción: temperatura, pH, tiempo de extracción y considerar la proporción adecuada de cada variedad y solución extractante; son fundamentales para obtener un buen rendimiento de pectina. En este caso, con pH bajos, tiempos de hidrólisis altos y una temperatura constante de 85 °C, se logró el mayor rendimiento, pero se debe considerar que se trabajó con ácido cítrico que resulta un ácido de menor poder de extracción y con alcohol isopropílico que tiene una menor concentración de alcohol, por ende menor poder de precipitación del coágulo de pectina. Es importante considerar que a temperaturas y tiempos de extracción constantes, la disminución del pH produce un incremento en el rendimiento de la pectina obtenida; se puede observar en el Grafico 1 que al aumentar los tiempos de extracción y mantener el rango de pH constante (se evidencia mayormente a pH: de 2 y 2,5), el rendimiento tiende a aumentar, es decir, aumenta cuando se expone a un mayor tiempo de extracción. De acuerdo a Pagán (1995), se extrajo mayor cantidad de pectina de muestras de bagazo de durazno almacenadas, debido a la hidrólisis que ocurre en los enlaces de protopectina y esto generó menos enlaces de unión al tejido vegetal que en el bagazo fresco, lo cual permitió que se separaran más fácilmente la pectina en las mismas condiciones de extracción. Sin embargo, en este ensayo no se consideró la relevancia de diferenciar las muestras de cáscaras de mango frescas o de mangos provenientes en cava de refrigeración.



**Gráfico 1.** Rendimiento de las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mango

#### 4. 5. Caracterización físicoquímica de la pectina cruda obtenida de las muestras de cáscaras de mango

##### 4.5.1. Contenido de humedad, cenizas totales y cenizas insolubles en ácido de las muestras de pectinas ensayadas

Los datos obtenidos en las muestras de pectinas obtenidas para los contenidos de humedad, cenizas totales y cenizas insolubles en ácido pueden observarse en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Contenido de humedad, cenizas totales y cenizas insolubles en ácido de las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mangos

pH	Tiempo de Hidrólisis (min.)	Humedad (%)	Cenizas Totales (%)	Cenizas insolubles en ácido (%)
1,5	40	2,68 ± 1,59	7,00 ± 1,50	3,00 ± 1,00
	60	1,67 ± 0,69	6,00 ± 2,00	1,17 ± 0,29
	80	3,70 ± 0,75	7,33 ± 1,59	1,83 ± 0,28
2,0	40	2,99 ± 1,63	7,00 ± 2,00	0,83 ± 0,29
	60	2,54 ± 0,17	9,00 ± 3,00	1,00 ± 0,50
	80	4,80 ± 1,51	6,00 ± 1,00	1,00 ± 0,50
2,5	40	1,88 ± 1,25	6,33 ± 0,57	0,83 ± 0,28
	60	2,43 ± 0,33	5,67 ± 0,58	0,67 ± 0,29
	80	3,02 ± 0,15	11,00 ± 2,00	1,00 ± 0,50

Valores expresados como media ± desviación estándar

Se puede apreciar que la humedad fluctuó entre 1,67 a 4,80; aumentando en las muestras obtenidas a tiempos de hidrólisis de 80 minutos, lo cual indica que se cumple con los valores de contenido de humedad exigidos por el Food Chemicals Codex (FCC) para pectinas comerciales, el cual establece valores de  $\leq 12\%$  de pérdida de peso por secado (Nacional Reserch Council, 1991; citado en: Kimball, 1999). Sin embargo, consideramos que se deben realizar nuevos ensayos para optimizar el proceso de secado, ya que en muchas muestras de pectinas el proceso de secado fue muy lento, posiblemente, el proceso de extracción (tiempo de hidrólisis) puede influir significativamente en la retención de humedad, probablemente se debió a que a un mayor tiempo de hidrólisis, se solubiliza mayor cantidad de pectina del sustrato que después se hidroliza de la pectina soluble que pasa a productos degradados (Pagán, 1995), el volumen de la pectina cruda obtenida proporciona mayor superficie de contacto para ganar y retener humedad hasta cierto nivel. En el análisis de la varianza la variable del tiempo de hidrólisis resultó significativo (Tabla 9). En la Tabla 10 se presentan los resultados de la prueba de Diferencias mínimas

significativas de Bayes (DMSB), el mayor contenido de humedad se obtiene con tiempos de hidrólisis de 80 minutos, sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos no se presentan diferencias significativas entre las medias obtenidas para los tiempos de hidrólisis de 80 y 40 min, así como, entre los tiempos de 40 y 60 min.

**Tabla 9.** Anava del contenido de humedad de las muestras de pectinas obtenidas de las cáscaras de mango

F. de variación	Gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	1,3124	0,6562	0,5481 ns
pH	2	5,0083	2,5042	2,0915 ns
Tiempo	2	13,5854	6,7927	5,6733*
pH x Tiempo	4	3,2892	0,8223	0,6868 ns
Error	16	19,1565	1,1973	
Total	26	42,3518		

$\alpha = 0,05$

Ft (2,16)= 3,63; Ft (4,16)= 3,01; Número de réplicas = 3; Número de tratamientos = 9

**Tabla 10.** Prueba de diferencias mínimas significativas para el contenido de humedad de las muestras de pectinas ensayadas

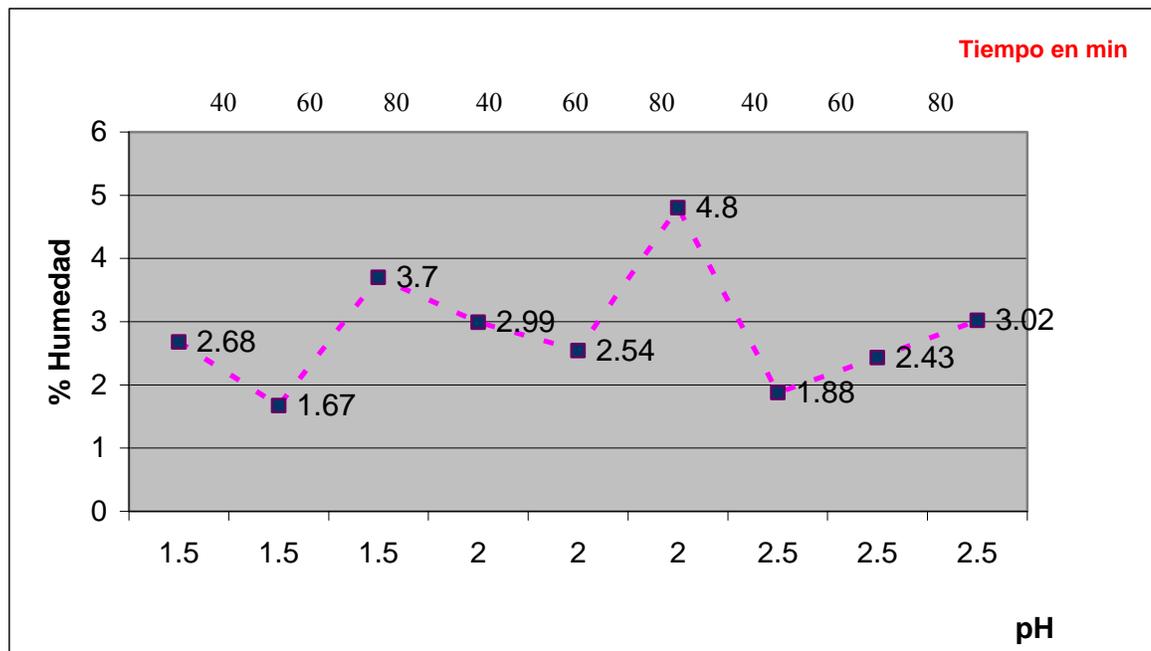
Tiempo de hidrólisis	Promedio	Ámbito (DMSB)
80	3,84	a
40	2,52	a c
60	2,21	b c

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, de acuerdo a la prueba de diferencias mínimas significativas de Bayes (DMSB) = 0,54

Coefficiente de variación (%CV) = 5,71%, lo que nos indica que la variabilidad fue controlada por el diseño.

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) = 0,81 en un 81% esta asociado el contenido de humedad en las pectinas obtenidas con el tiempo de hidrólisis.

En el Gráfico 2, se puede apreciar el comportamiento o tendencia de los contenidos de humedad en las pectinas secas.



**Gráfico 2.** Contenido de humedad en las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mango ensayadas

La muestra de pH 2,0 y tiempo de hidrólisis 80 minutos presentó un mayor contenido humedad después del secado, alcanzando un valor máximo de 4,80 %. Sin embargo, se logró obtener pectinas con valores de humedad cercanos al 2%, tendiendo a disminuir cuando el tiempo de hidrólisis es menor; Ferreira y col., (1995), señalan que en las pectinas obtenidas por ellos la humedad fluctuó entre 1,1 y 5,32%, valores muy cercanos a los logrados en este estudio, y de igual manera el menor contenido de humedad lo reportan con el menor tiempo de hidrólisis (60 min.)

y al menor valor de pH (3,2). Se considera, que las diferencias se pueden deber a los métodos de secado, Ferreira y col. (1995); sometieron las muestras de pectinas conseguidas por ellos a secado en estufa a 40°C por 8 horas, en este ensayo fueron sometidas a un secado suave a 30°C por 24 horas aproximadamente en una especie de incubadora, a fin de lograr una deshidratación lenta. Sin embargo, esto ocasionó que las pectinas obtenidas se oscurecieran más de lo normal (por los azúcares y proteínas que pueden estar conformando las muestras de pectina evaluadas); por lo que sería conveniente evaluar en el proceso de secado reducir el tiempo del mismo y aumentar el flujo de aire en el equipo, pero considerando una temperatura adecuada que no aumente los cambios estructurales y composicionales; ya que temperaturas muy elevadas podrían afectar la solubilidad de las pectinas.

En el caso de las Cenizas Totales, los valores fluctuaron de 5,67 a 11,00% (tabla 8 presentada anteriormente), tanto los valores mínimos y los máximos se obtuvieron a pH de 2,5 (Gráfico 3); lo que indicó que influyó significativamente la interacción del pH y el tiempo de hidrólisis (tabla 11). En este caso, se presume que a un alto valor de pH existe un mayor porcentaje de materia inorgánica que no se solubilizó durante el proceso de hidrólisis ácida, probablemente debido a que la concentración y fuerza del ácido no fueron suficientes y por ello, al incinerar la muestra de pectina obtenida (materia orgánica) resultaron altos valores de cenizas; y a pH de precipitación superiores a 1,5 fue más improbable obtener los ácidos pécticos que sus sales (Ferreira y col., 1995). Además, un mayor tiempo de hidrólisis pudo provocar que el ion citrato del ácido cítrico reaccionara con los iones metálicos del recipiente (olla de aluminio) donde se llevó a cabo el proceso, produciendo citratos que probablemente fueron sales. En la Tabla 12, se presenta la prueba de Diferencias mínimas significativas de Bayes, donde se aprecian los ensayos que no presentaron diferencias entre las medias de los resultados obtenidos.

**Tabla 11.** Anava de las cenizas totales de las muestras de pectinas ensayadas

F de variación	gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	53,4074	26,7037	14,9433*
pH	2	3,6296	1,8148	1,0156 ns
Tiempo	2	9,8519	4,9259	2,7565 ns
pH x Tiempo	4	57,7037	14,4259	8,0727 **
Error	16	28,5926	1,7870	
Total	26	153,1852		

$\alpha = 0,05$

Ft (2,16) = 3,63; Ft (4,16) = 3,01

Número de réplicas = 3; Número de tratamientos = 9

En este caso como el Fc de la interacción del pH x el Tiempo es > Ft solo se realiza esta prueba de promedio.

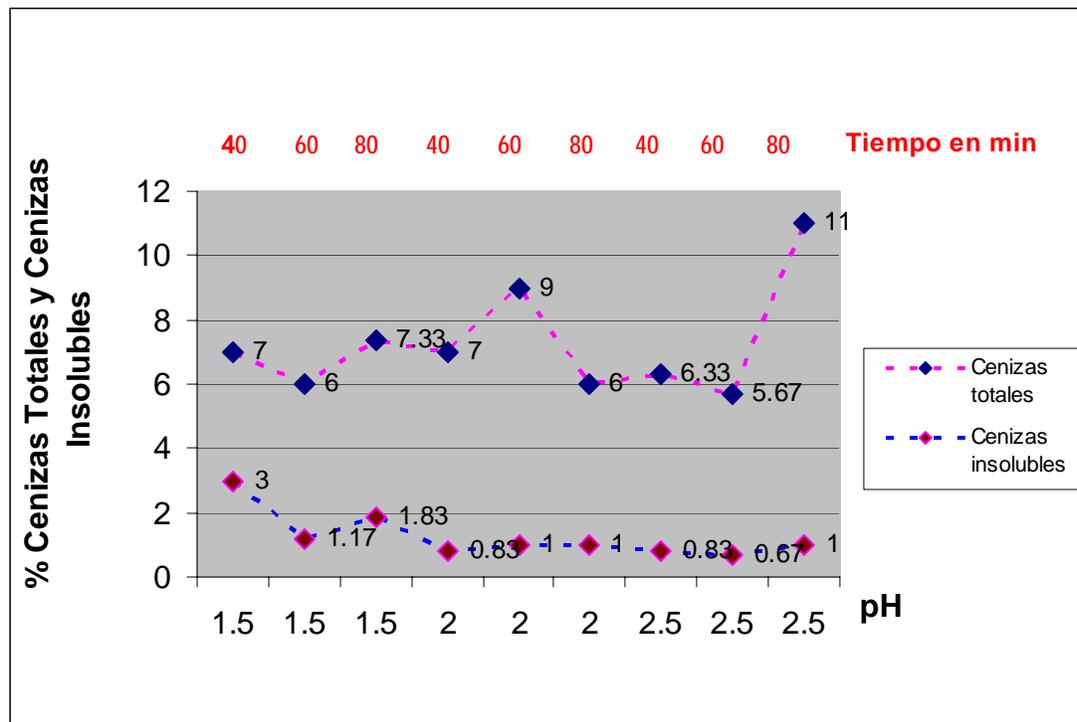
**Tabla 12.** Prueba de diferencias mínimas significativas para el contenido de cenizas totales de las muestras de pectinas ensayadas

pH x Tiempo de Hidrólisis	Promedio	Ámbito (DMSB)
pH: 2,5 - 80 min	11	a
pH: 2,0 - 60 min	9	a c
pH: 1,5 - 80 min	7,33	b c e
pH: 1,5 - 40 min	7	c e
pH: 2,0 - 40 min	7	c e
pH: 2,5 - 40 min	6,33	c e
pH: 1,5 - 60 min	6	c e
pH: 2,0 - 80 min	6	c e
pH: 2,5 - 60 min	5,67	d e

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, de acuerdo a la prueba de diferencias mínimas significativas de Bayes (DMSB) = 3,29

Coefficiente de variación (%CV) = 4,68 %, lo que nos indica que la variabilidad fue controlada por el diseño.

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) = 0,813 en un 81% esta asociado el contenido de humedad en las pectinas obtenidas con el tiempo de hidrólisis.



**Gráfico 3.** Contenido de cenizas totales e insolubles en ácido en las pectinas obtenidas de las muestras de las cáscaras de mango

El contenido de cenizas totales, de acuerdo a las especificaciones del Food Chemicals Codex (FCC) para pectinas comerciales (Nacional Reserch Council, 1991; citado en: Kimball, 1999) deberá oscilar en  $\leq 10\%$ , en casi todas las muestras ensayadas se obtuvieron menores al mencionado excepto en la muestra a pH: 2,5 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos (11%), de manera general se puede decir que las cenizas totales fueron menores y en valores constantes a pH: 1,5 y a menor tiempo de hidrólisis; en este sentido, Ferreira y col. (1995), menciona valores de cenizas totales que van de 2,0 a 4,25% a un pH de precipitación de 3,2 y 3,6. A pesar que los valores obtenidos en este estudio son mayores a los reportados por Ferreira y col. (1995), se cumple con los rangos para este parámetro de la FCC.

Las cenizas insolubles en ácido, oscilaron entre 0,67 - 3,00 % (Tabla 8 presentada anteriormente); en el análisis de la varianza no se establecieron diferencias significativas (Tabla 13) para el pH, tiempo de hidrólisis o la interacción entre el pH y el tiempo de hidrólisis, sin embargo, se da la idea de la presencia de materias extrañas insolubles. La fluctuación de los resultados del % de cenizas insolubles en ácido presentes en las muestras de pectinas ensayadas se puede detallar en el Gráfico 3 mostrado con anterioridad.

**Tabla 13.** Anava de las cenizas insolubles en ácido de las muestras de pectinas ensayadas

F. de variación	Gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	0,1296	0,0648	0,0029 ns
pH	2	7,4629	3,7315	0,1650 ns
Tiempo	2	1,6852	0,8426	0,0373 ns
pH x Tiempo	4	3,7038	0,9259	0,0409 ns
Error	16	361,8287	22,6143	
Total	26	374,8102		

$\alpha = 0,05$

Ft (2,16)= 3,63; Ft (4,16)= 3,01

Número de réplicas = 3; Número de tratamientos = 9

Se puede observar, que para las cenizas insolubles en ácido se obtuvieron valores semejantes a los establecidos por la FCC de  $\leq 1\%$ , para las muestras logradas a pH: 2,0 y 2,5 en los tres tiempos de extracción evaluados (40, 60 y 80 minutos); sin embargo, en las muestras de pectinas obtenidas a pH 1,5 los valores de cenizas insolubles aumentaron considerablemente, obteniéndose un valor pico a tiempo de hidrólisis de 40 minutos de 3,0%. Ferreira y col. (1995), reportaron valores de 0,04 a 1,46%, el valor máximo lo obtuvieron a tiempo de hidrólisis de 45 minutos y pH de 3,4; pero los análisis de varianza no establecieron relación entre el pH y el tiempo de

hidrólisis como factores influyentes en el % de cenizas insolubles, se considera que la composición de las variedades y los extractantes utilizados influyen en la presencia de determinados valores de cenizas insolubles en ácido.

#### **4.5.2. Peso equivalente y Acidez libre de las muestras de pectinas ensayadas**

Los valores obtenidos para peso equivalente y acidez titulable se pueden apreciar en la Tabla 14.

En el caso de los pesos equivalentes determinados para las muestras de pectinas obtenidas de las cáscaras de mangos ensayadas, se encontraron entre 1098,99 y 9444,40 mg/meq. En la Tabla 15 se presentan los resultados conseguidos del análisis de la varianza, donde se establecieron diferencias significativas de estos valores en los factores de variación de: pH, tiempo de hidrólisis y la interacción del pH y el tiempo de hidrólisis; en este caso el estudio de las Diferencias Mínimas Significativas de Bayes, se determinó para la interacción del pH y el tiempo de hidrólisis (Tabla 16). Cabe destacar que el peso equivalente está asociado con la cantidad de grupos carboxilos libres que conforman la cadena de pectina y que los mismos aumentan con el estado de maduración de la fruta. Por lo que se debería esperar que el peso equivalente sea menor a medida que el pH disminuye (aumente la acidez del medio) y el tiempo de extracción utilizado sea menos drástico.

**Tabla 14.** Peso equivalente y acidez libre de las muestras de pectinas obtenidas

pH	Tiempo de Hidrólisis (min.)	Peso Equivalente (mg/meq)	Acidez libre (meq carboxilos libres / g.)
1,5	40	1132,30 ± 19,48	0,088± 0,002
1,5	60	1098,99 ± 12,075	0,091 ± 0,001
1,5	80	1210,32 ± 34,36	0,083 ± 0,002
2,0	40	9444,44 ± 962,25	0,011 ± 0,001
2,0	60	6130,95 ± 1076,38	0,016 ± 0,003
2,0	80	8888,89± 962,25	0,011 ± 0,001
2,5	40	3371,64 ± 66,35	0,029 ± 0,0006
2,5	60	4689,75 ± 124,97	0,021 ± 0,0006
2,5	80	1318,22± 69,47	0,076 ± 0,004

Valores expresados como media ± desviación estándar

**Tabla 15.** Anava del peso equivalente de las muestras de pectinas ensayadas

F. de variación	Gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	279070,4	139535,2	0,385 ns
pH	2	2349199592	117459979,6	324,311 *
Tiempo	2	3591192	1795596	4,957*
pH x Tiempo	4	32643603,5	8160900,88	22,533**
Error	16	5794935,4	362183,46	
Total	26	2772283933		

$\alpha = 0,05$

Número de réplicas = 3

Número de tratamientos = 9

Ft (2,16)= 3,63

Ft (4,16)= 3,01

**Tabla 16.** Prueba de diferencias mínimas significativas para el peso equivalente de las muestras de pectinas ensayadas

pH	Tiempo de hidrólisis	Promedio	Ámbito (DMSB)
2,0	40	9444,44 ± 962,25	a
2,0	80	8888,89 ± 962,25	b
2,0	60	6130,95 ± 1076,38	c
2,5	60	4689,75 ± 124,97	d
2,5	40	3371,64 ± 66,35	e
2,5	80	1318,22 ± 69,47	f
1,5	80	1210,32 ± 34,36	f
1,5	40	1132,30 ± 19,48	f
1,5	60	1098,99 ± 12,075	f

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, de acuerdo a la prueba de diferencias mínimas significativas de Bayes (DMSB) = 499,137

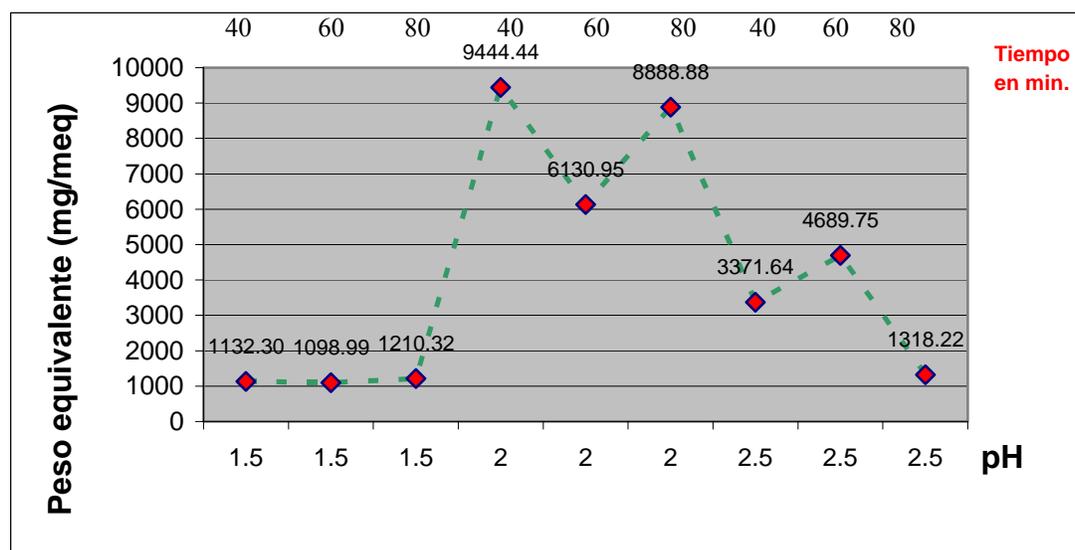
$\alpha = 0,05$

Coefficiente de variación (%CV) = 25%, lo que indica que la variabilidad alta a pesar del diseño.

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) = 0,979 en un 97.9% esta asociado el peso equivalente en las pectinas obtenidas con la interacción ente tiempo de hidrólisis y el pH.

Los pesos equivalentes son relativamente bajos a excepción de tres ensayos donde se lograron rangos altos. Sin embargo, si se comparan con los conseguidos por Ferreira y col. (1995), que señalan valores que fluctúan entre 3731,22 – 7724,74 mg/meq, los mismos presentan una tendencia muy cercana a los conseguidos en este estudio; de igual manera si los comparamos con los obtenidos por Buitriago (1998), que menciona para mango variedad Bocado en extracción en caliente un peso equivalente de 6047,97 g/eq y en el mango Haden de 522,63 g/eq; Gaeta (1999), también menciona pesos equivalentes muy superiores a los obtenidos en este estudio; realizando extracciones de pectinas en frío para los mangos variedades Smith y Manzana y mezclas de ambas variedades, de las cuales consiguió los siguientes pesos equivalentes, 738,80; 601,80 y 776, 29 g/eq respectivamente. El peso equivalente permite tener una idea del poder gelificante y viscosidad de la pectina, ya que estas características están muy asociadas con el peso molecular y el tamaño de la cadena de

pectina, como se imposibilitaba técnica y económicamente determinar el peso molecular, por medio del peso equivalente se puede deducir. El mayor peso equivalente se obtuvo con pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 40 minutos (Gráfico 4), sin embargo los valores presentaron diferencias muy grandes entre sí. Se consideró que las discrepancias se deben a la diversidad de variedades de mango de las cuales se tomaron las muestras (mezclas de distintos porcentajes de composición) y a que entre ellas existió diferencia en los procesos de maduración, se debe recordar que unos maduraron naturalmente en el campo y otro en cavas de maduración controlada. A pesar de presentar valores de peso equivalente menores a los citados en las investigaciones precedentes, se puede esperar que las muestras de pectinas evaluadas tiendan a presentar una adecuada viscosidad, consistencia y poder de gelificación.



**Gráfico 4.** Peso equivalente (mg/meq) de las pectinas obtenidas de las muestras de las cáscaras de mango

Los valores obtenidos de acidez libre (meq de carboxilos libres/g), indican que la misma aumentó cuando el pH del medio de extracción era menos ácido (Tabla 14),

en consecuencia se aprecia una relación entre los valores de acidez libre del medio y el peso equivalente, el cual disminuyó a medida que la acidez libre del medio era mayor y el tiempo de hidrólisis ácida menor. Dicha tendencia de los valores obtenidos de los ensayos con las pectinas obtenidas de las cáscaras para la obtención de la acidez libre se pueden apreciar en el Gráfico 5, el mayor valor se logró a pH 1,5 y tiempo de hidrólisis 60 minutos donde se obtuvo el menor peso equivalente y un alto valor de acidez libre; en el caso del pH 2,0 y tiempo de hidrólisis 40 minutos se consiguió un mayor peso equivalente y un menor valor de acidez libre. Lo que da una idea de la interacción entre el pH y el tiempo de hidrólisis. El análisis de la varianza (tabla 18) establece que existen diferencias significativas para el pH, el tiempo de hidrólisis y la interacción del pH y el tiempo de hidrólisis, en este caso se considera la significancia de la interacción de los factores pH y tiempo de hidrólisis para la diferencia minita significativa de Bayes (tabla 18).

**Tabla 17.** Anava de la acidez libre de las muestras de pectinas evaluadas

F. de variación	Gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	1,6518 <sup>-05</sup>	8,259 <sup>-06</sup>	2,27 ns
pH	2	0,025301852	0,012650926	3481,028*
Tiempo	2	1,129852 <sup>-03</sup>	5,64926 <sup>-04</sup>	155,445*
pH x Tiempo	4	4,24837 <sup>-03</sup>	1,0620925 <sup>-03</sup>	292,245**
Error	16	5,8148 <sup>-05</sup>	3,63425 <sup>-06</sup>	
Total	26	0,03075474		

Número de réplicas = 3

Número de tratamientos = 9

$\alpha = 0,05$

Ft (2,16) = 3,63

Ft (4,16) = 3,01

**Tabla 18.** Prueba de diferencias mínimas significativas de la acidez libre de las muestras de pectinas ensayadas

pH	Tiempo de hidrólisis	Promedio	Ámbito (DMSB)
1,5	60	0,091 ± 0,001	a
1,5	40	0,088 ± 0,002	b
1,5	80	0,083 ± 0,002	c
2,5	80	0,076 ± 0,004	d
2,5	40	0,029 ± 0,0006	e
2,5	60	0,021 ± 0,0006	f
2,0	60	0,016 ± 0,003	g
2,0	80	0,011 ± 0,001	h
2,0	40	0,011 ± 0,001	h

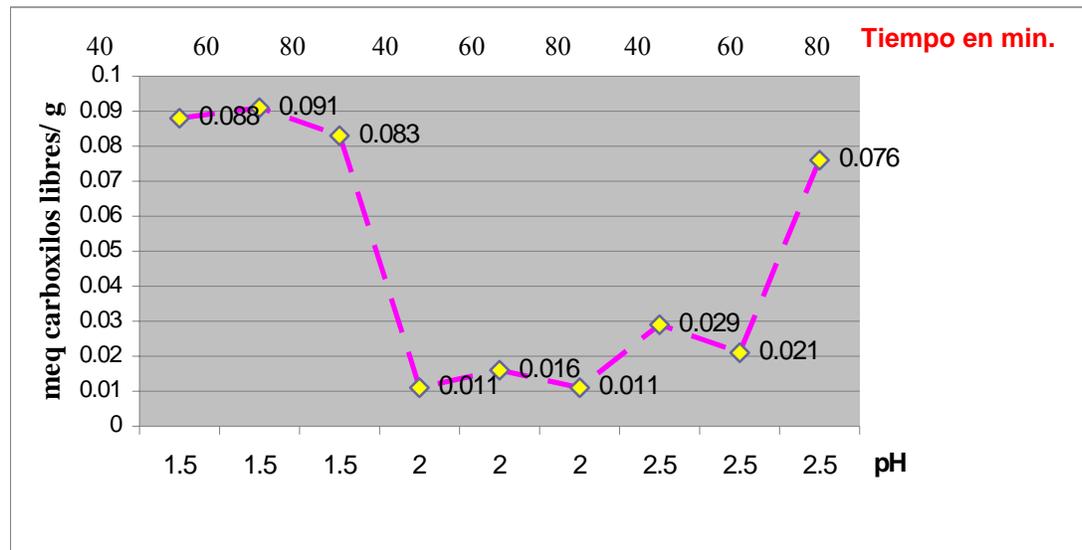
Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, de acuerdo a la prueba de diferencias mínimas significativas de Bayes (DMSB) =  $8,9395008^{-04}$

$\alpha = 0,05$

Coefficiente de variación (%CV) = 25 %, lo que nos indica que la variabilidad alta a pesar del diseño.

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) = 0,9981 en un 99.8% esta asociado la acidez libre medida en las pectinas obtenidas con la interacción ente tiempo de hidrólisis y el pH.

La acidez libre en este ensayo osciló entre 0,011 – 0,091 meq carboxilos libres/g. Ferreira y col. (1995), reportaron valores de acidez libre entre 0,1294 – 0,3734 meq carboxilos libres/ g y para la pectina patrón 0,5114 meq carboxilos libres/g, la cuál también tendió a disminuir cuando el peso equivalente de las pectinas evaluadas eran altos, de igual manera como se describe para las determinaciones hechas en este estudio. La acidez medida en las muestras de pectina logradas de las cáscaras de mango ensayadas, manifiesta una tendencia cercana a las obtenidas por Ferreira y col. (1995), la misma se puede detallar en el Gráfico 5.



**Gráfico 5.** Acidez libre (meq de carboxilos libres/g) de las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mango

#### 4.5.3. Grado de esterificación y porcentaje de metoxilos de las muestras de pectinas ensayadas

En la tabla 19, se muestran los resultados obtenidos para las muestras de pectinas ensayadas de los parámetros de grado de esterificación y porcentaje de metoxilos, los cuales son constituyen una propiedad química muy importante relacionada con la velocidad de gelificación y solidificación de las moléculas de pectina, como se detalló en el marco teórico.

Los valores del grado de esterificación obtenidos variaron de 98,73% a 71, 64%; Sin embargo, en todos los casos los valores obtenidos superaron el 50% , por lo que las muestras de pectina cruda obtenidas fueron de alto grado de esterificación, además, los rangos de pH de 2,0 y 2,5 se produjo un ligero aumento del grado de esterificación, lo cuál tiene relación con los datos obtenidos al medir la acidez libre,

es decir, se disponen más carboxilos libres que pueden ser esterificados. De igual manera, se puede detallar que a pH 1,5 y mayor tiempo de hidrólisis el grado de esterificación es menor, pero cuando el pH se hace menos ácido y el tiempo de hidrólisis mayor, el grado de esterificación tiende a aumentar un poco, parece que afecta los enlaces ester de la cadena favoreciendo su hidrólisis. El análisis de la varianza para el grado de esterificación estableció que las medias de los datos evaluados resultaron estadísticamente diferentes (Tabla 20) por lo que se realizó una prueba de promedios de Bayes para escoger los rangos en los que se tiene mayor grado de esterificación (Tabla 21).

**Tabla 19.** Grado de esterificación y porcentaje de metoxilos de las pectinas obtenidas

pH	Tiempo de Hidrólisis (min.)	Grado de esterificación	% de metoxilos
1,5	40	81,98 ± 0,66	12,47 ± 0,47
1,5	60	77,64 ± 0,54	9,81 ± 0,37
1,5	80	84,56 ± 0,42	14,04 ± 0,57
2,0	40	98,73 ± 0,09	25,21 ± 1,56
2,0	60	95,37 ± 0,72	10,65 ± 0,93
2,0	80	98,68 ± 0,15	26,35 ± 0,31
2,5	40	94,20 ± 0,72	15,09 ± 1,71
2,5	60	94,23 ± 1,21	11,16 ± 2,48
2,5	80	82,38 ± 0,61	11,02 ± 0,58

Valores expresados como media ± desviación estándar

**Tabla 20.** Anava del grado de esterificación de las muestras de pectinas obtenidas

F. de variación	Gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	0,850	0,425	1,01 NS
pH	2	1184,422	592,211	1404,01*
Tiempo	2	49,263	24,632	58,39*
pH x Tiempo	4	326,747	81,687	193,66**
Error	16	6,749	0,4218	
Total	26	1568,0308		

Número de réplicas = 3

Número de tratamientos = 9

£= 95%

Ft (2,16)= 3,63

Ft (4,16)= 3,01

**Tabla 21.** Prueba de diferencias mínimas significativas para el grado de esterificación de las pectinas ensayadas

pH	Tiempo de hidrólisis	Promedio	Ámbito (DMSB)
2,0	40	98,73 ± 0,09	a
2,0	80	98,68± 0,15	a
2,0	60	95,37 ± 0,72	b
2,5	60	94,23± 1,21	c
2,5	40	94,20 ± 0,72	c
1,5	80	84,56 ± 0,42	d
2,5	80	82,38± 0,61	e
1,5	40	81,98 ± 0,66	e
1,5	60	77,64 ± 0,54	f

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, de acuerdo a la prueba de diferencias mínimas significativas de Bayes (DMSB) = 0,526

$\alpha$ = 0,05

Coefficiente de variación (%CV) = 24,9%, lo que nos indica que la variabilidad alta a pesar del diseño.

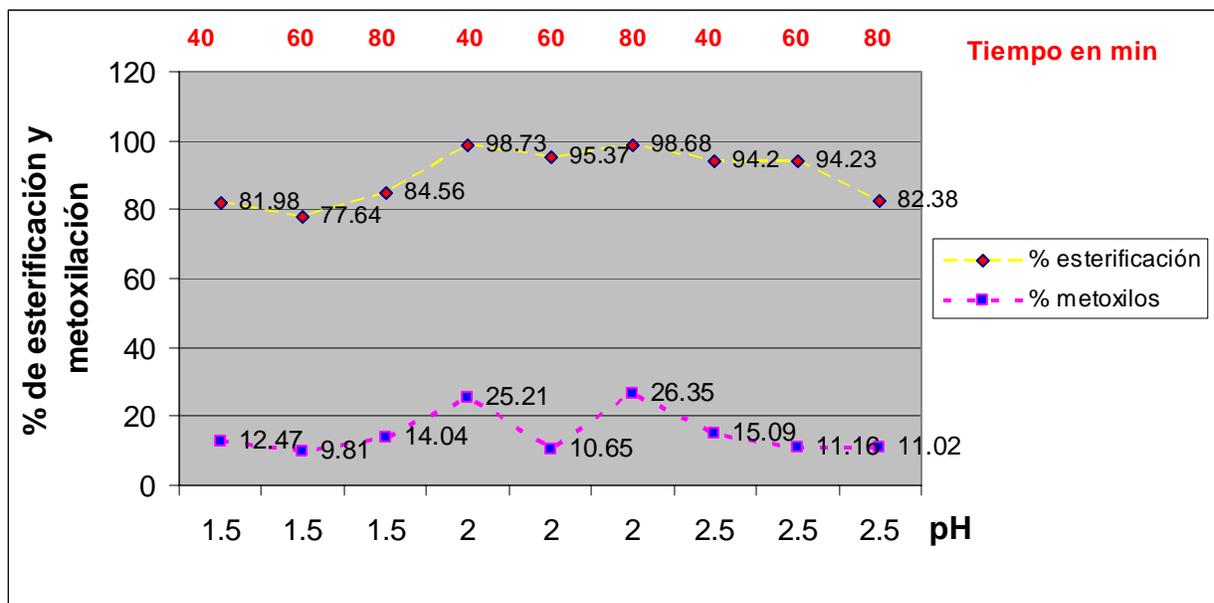
Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) = 0,995 en un 99.5% esta asociado el grado de esterificación obtenido en las pectinas con la interacción ente el tiempo de hidrólisis y el pH.

Como ya se mencionó, el grado de esterificación es una característica química importante relacionada con la velocidad de gelificación. Las determinaciones se realizaron a una temperatura que osciló en unos 85°C aproximadamente; los valores de grado de esterificación (DE) obtenidos variaron entre 77,64 – 98,73 % (Gráfico 6) en las muestras extraídas que corresponde a valores de pectinas de alto metoxilo. Respecto a esto, Pedroza y col. (1994), reportan para pectinas obtenidas de mango, grados de esterificación de 100,87% y 105,69%, a pH de 2,5, tiempo de extracción de 30 minutos y una relación de sustrato – solución ácida de 30:70 y pH: 3,0, tiempo de extracción de 60 min. y una relación sustrato- solución ácida de 20:30, respectivamente; mientras que Salazar y col. (1987), encontraron grados de esterificación en muestras de pectinas obtenidas de mangos Haden de 34,41% y en mangos Kent de 84,26%. Por su parte, Buitrago (1998), experimentando métodos de extracción en frío y caliente, para mangos de las variedades Bocado y Haden, consiguió grados de esterificación en frío de 48,41% para Bocado y 48,87% para Haden; en el método de extracción en caliente, 70,97% en Bocado y 82, 17% para Haden. A su vez, Gaeta (1999), realizando extracciones en frío en mangos de variedades, Smith, Manzana y una combinación de Smith y Manzana, logró muestras de pectinas con grados de esterificación de 22,43 % para las variedades Smith, de 20,77%, para Manzana y 18,32% para la combinación de Smith y Manzana. Villalobos (1990), en muestras de pectinas obtenidas de cuatro variedades de mango, Kent, Keitt, Smith y Criollo común, señaló grados de esterificación entre 34, 78 – 52, 29% respectivamente.

Schieber y col. (2004), trabajaron con catorce variedades de mango, logrando grados de esterificación entre 56,3 y 65,6 %; entre las variedades evaluadas, por lo que reportaron para Tommy Atkins 65, 6% de DE, Kent 57,7% y Haden 60,7%. Los valores de esterificación obtenidos en este estudio concuerdan con muchos de las investigaciones precedentes. Sin embargo, los obtenidos por Ferreira y col. (1995), se

asemejan más a los logrados en este ensayo. Ferreira y col. (1995), reportaron determinaciones del grado de esterificación de 84,2% a pH: 3,4 y tiempo de hidrólisis de 60 min y de 93,5 % a pH: 3,2 y tiempo de hidrólisis de 75 min. A su vez, reportaron valores del grado de esterificación de la pectina patrón evaluada por ellos de 76,7%.

Las pectinas con alto grado de esterificación o metoxilación como las obtenidas en estas evaluaciones, generalmente presentan una alta solubilidad en agua y una rápida geleificación y solidificación de sus moléculas (Yúfera, 1980) y sus disoluciones son estables en medios ácidos (pH: 2,5 – 4,5) pero no en medio alcalino. Sin embargo, resultan más susceptibles a la degradación enzimática (Walter, 1991), por lo que se puede decir, que este parámetro permite determinar la aptitud tecnológica de la pectina (Kimball, 1999).



**Gráfico 6.** Grado de esterificación y porcentaje de metoxilación de las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mango

En el caso del porcentaje de metoxilo en las muestras obtenidas de pectinas resultó mayor del 8%, en consecuencia se le puede considerar como pectinas de alto metoxilo; se apreció una cierta relación entre las condiciones de extracción, pH y tiempo de hidrólisis con respecto al contenido de metoxilo; además, para cada valor de pH evaluado existió un tiempo de hidrólisis (anterior Tabla 19) en el que se logró una pectina con mayor contenido de metoxilos. En la Tabla 22 se puede detallar que el pH y el tiempo de hidrólisis resultaron significativos en relación al contenido de metoxilos en las muestras de pectinas evaluadas. Se realizó la prueba de Diferencias Mínimas Significativas de Bayes para el factor de variación de la interacción del pH y el tiempo de hidrólisis, los resultados obtenidos determinan que las medias son estadísticamente diferentes (Tabla 23).

**Tabla 22.** Anava del contenido de metoxilos de las muestras de las pectinas ensayadas

F. de variación	Gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	1,507467	0,7537335	0,4739 ns
pH	2	431,398689	215,6993445	135,6433*
Tiempo	2	280,272067	140,1360335	88,1250*
pH x Tiempo	4	25,443133	59,73027775	37,5616**
Error	16	25,443133	1,590195813	
Total	26	977,542467		

Número de réplicas = 3

Número de tratamientos = 9

$\alpha = 0,05$

Ft (2,16) = 3,63

Ft (4,16) = 3,01

**Tabla 23.** Prueba de diferencias mínimas significativas para el contenido de metoxilos de las pectinas evaluadas

pH	Tiempo de hidrólisis	Promedio	Ámbito (DMSB)
2,0	80	26,35 ± 0,31	a
2,0	40	25,21 ± 1,56	a
2,5	40	15,09 ± 1,71	b
1,5	80	14,04 ± 0,57	c
1,5	40	12,47 ± 0,47	c
2,5	60	11,16 ± 2,48	d
2,5	80	11,02 ± 0,58	e
2,0	60	10,65 ± 0,93	e
1,5	60	9,81 ± 0,37	f

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, de acuerdo a la prueba de diferencias mínimas significativas de Bayes (DMSB) = 1,022

$\alpha = 0,05$

Coefficiente de variación (%CV) = 25%, lo que nos indica que la variabilidad alta a pesar del diseño.

Coefficiente de determinación (R<sup>2</sup>) = 0,97 en un 97% esta asociado el contenido de metoxilos de las pectinas obtenidas con la interacción ente tiempo de hidrólisis y el pH.

Al cotejar el contenido de metoxilos con los altos grados de esterificación obtenidos, se corroboró que intervienen en la esterificación con los grupos carboxilos de los ácidos anhidrogalacturónicos que conforman la cadena de pectina. Las cadenas de pectinas con alto porcentaje de metoxilos tenderán a presentar un grado de esterificación superior al 50%. Además, dió un indicio de la proporción de los ácidos carboxílicos presentes que se encuentran metoxilados (esterificados con metanol), mientras que el grado de esterificación establece el porcentaje de ácidos carboxílicos que se han sintetizado para forma un éster – metoxílico (Yúfera, 1980). Como se mencionó, tiene relevancia su determinación, ya que generalmente los grupos éster tienden a ser menos hidrófilicos que los grupos ácidos, lo cual resulta de gran importancia al momento de establecer el uso de las pectinas.

En este sentido, Salazar y col. (1987), utilizando variedades de Haden y Kent para la obtención de pectinas determinaron porcentajes de metoxilo de 3,16 – 8%

respectivamente; Mientras que Buitriago (1998), en método de extracción en caliente en variedades Bocado y Haden obtuvo pectinas con porcentajes de metoxilo de 10,92 y 12,64%, observándose que a pesar de que Buitriago estableció un menor grado de esterificación para el mango variedad Haden en comparación con los reportados por Salazar y col. (1987), logró un mayor porcentaje de metoxilos. Ferreira y col. (1995), indicó valores de porcentajes de metoxilo calculados entre 3,38% a pH de 3,4 y tiempo de hidrólisis de 60 minutos y de 6,31% a pH 3,2 y tiempo de hidrólisis de 75 minutos; en este caso también se observó que existió un bajo porcentaje de metoxilos y alto grado de esterificación, el autor señaló que puede deberse a que existen otros grupos químicos que probablemente intervienen en la esterificación con los grupos carboxilo del ácido poligalacturónico.

Por otro lado, Gaeta (1999), en métodos de extracción de pectina en frío en variedades de mango, Smith, Manzana y una mezcla de Smith y Manzana, señaló porcentajes de metoxilos de 3,66; 3,39 y 2,99 respectivamente. A u vez, Villalobos (1990), reportó porcentajes de metoxilos de las pectinas obtenidas de mangos variedades, Kent, Keitt, Smith y Criollo común eran muy similares a los indicados por Gaeta (1999), de 3, 30 – 8,6%.

En el caso de este estudio el porcentaje de metoxilo fue mayor de 8% (Gráfico 6 mostrado anteriormente), oscilando entre, 9,81% a pH 1,5 y tiempo de hidrólisis de 60 minutos – 26,35% a pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos, por lo que de acuerdo a Ferreira y col., 1995, probablemente a ellos se deba la esterificación de los ácidos carboxílicos presentes en las muestras de pectinas logradas. Sin embargo, se puede acotar que al utilizar como extractante ácido cítrico y la gran mayoría de los trabajos precedentes han trabajado con ácido clorhídrico, de igual manera los grados de maduración o almacenaje de la fruta tengan relación en las diferencias observadas.

#### 4.5.4. Contenido de Ácido Anhidrouónicos (AUA) de las muestras de pectinas ensayadas

La riqueza de la pectina en ácidos anhidrouónicos (AUA), es otros de los parámetro importantes a determinar en las muestras de pectina cruda obtenida, ya que permite tener una idea de la pureza de la pectina obtenida (Pagán, 1995). Los resultados conseguidos se aprecian en la Tabla 24 y en el Gráfico 7, los cuales se encuentran entre 31,71 y 75,87 % de AUA. Se aprecia que a pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos se obtuvo el mayor porcentaje de AUA y a su vez el menor valor se obtuvo al mismo rango de pH mencionado pero con un tiempo de hidrólisis de 60 minutos. Por lo que se considera que no existe un patrón como tal. Además, es importante tener en cuenta que el AUA en las pectinas se encuentra muchas veces acompañado de azúcares neutros que forman parte de la cadena de pectina y por impurezas que no son componentes de la misma. El análisis de la varianza, estableció que existen entre las medias del porcentaje de AUA obtenido diferencias estadísticamente significativas para la interacción del pH y el tiempo de hidrólisis (Tabla 25), por lo que se realizó una prueba de promedios de Bayes para escoger los rangos en los que se tiene mayor grado de esterificación (Tabla 26).

**Tabla 24.** Porcentaje de ácido anhidrouónico (AUA) de las muestras de pectinas obtenidas

pH	Tiempo de Hidrólisis (min.)	% AUA
1,5	40	43,18 ± 1,32
1,5	60	36,05 ± 0,77
1,5	80	47,14 ± 1,75
2,0	40	71,93 ± 2,55
2,0	60	31,71 ± 2,75
2,0	80	75,87 ± 0,90
2,5	40	45,44 ± 1,81
2,5	60	33,58 ± 3,64
2,5	80	37,96 ± 1,89

Valores expresados como media ± desviación estándar

**Tabla 25.** Anava del contenido de ácido anhidrouónico de las muestras de pectinas ensayadas

F. de variación	Gl	Sc	CM	Fc
Repeticiones	2	1,30743	0,653715	0,132 ns
pH	2	2274,10809	1137,054045	228,897*
Tiempo	2	2353,78183	1176,890915	236,916*
pH x Tiempo	4	1634,87006	408,717515	82,277**
Error	16	79,48044	4,9675275	
Total	26	6343,54785		

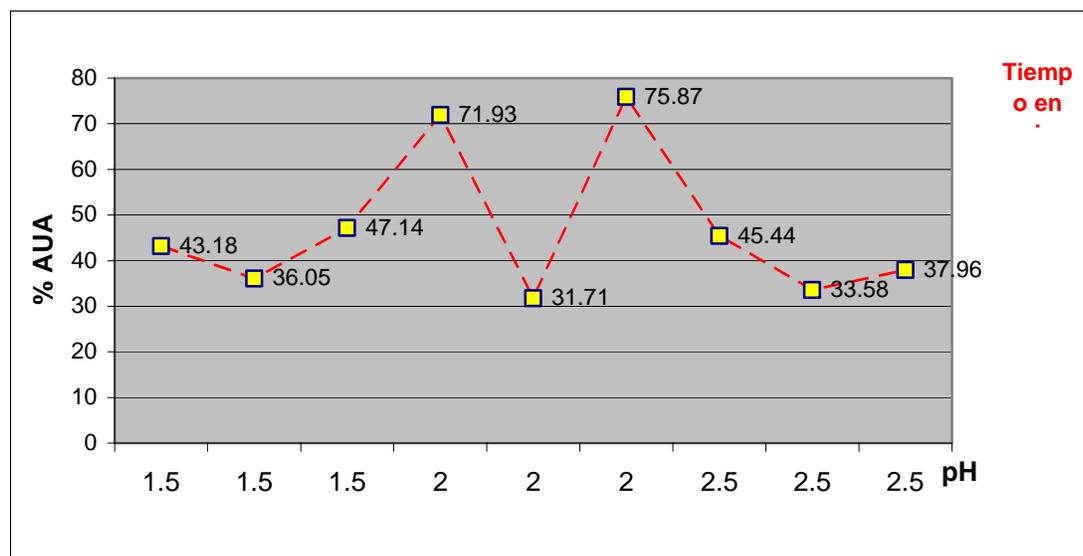
Número de réplicas = 3

Número de tratamientos = 9

$\alpha = 0,05$

Ft (2,16) = 3,63

Ft (4,16) = 3,01



**Gráfico 7.** Porcentaje de AUA en las pectinas obtenidas de las muestras de cáscaras de mango

**Tabla 26.** Prueba de diferencias mínimas significativas para el contenido de ácido anhidrouónico (AUA) de las muestras de pectinas ensayadas

pH	Tiempo de Hidrólisis (min.)	% AUA	Ámbito (DMSB)
2,0	80	75,87 ± 0,90	a
2,0	40	71,93 ± 2,55	b
1,5	80	47,14 ± 1,75	c
2,5	40	45,44 ± 1,81	c d
1,5	40	43,18 ± 1,32	e
2,5	80	37,96 ± 1,89	f
1,5	60	36,05 ± 0,77	g
2,5	60	33,58 ± 3,64	h
2,0	60	31,71 ± 2,75	i

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias, de acuerdo a la prueba de diferencias mínimas significativas de Bayes (DMSB) = 1,807

$\alpha = 0,05$

Coefficiente de variación (%CV) = 25%, lo que nos indica que la variabilidad alta a pesar del diseño.

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) = 0,987 en un 98.7% esta asociado el porcentaje de AUA de las pectinas obtenidas con la interacción ente tiempo de hidrólisis y el pH.

Como se comentó la riqueza de la pectina en ácido galacturónico (AGA), esta relacionado con la pureza de la pectina obtenida, de allí la importancia de cuantificarlo. Sin embargo, el ácido galacturónico por ser un azúcar, una forma oxidada de la D-galactosa, estará acompañado de azúcares neutros como, L-arabinosa, L-ramosa, D-galactosa y de algunas impurezas arrastradas en las extracciones (Pagán, 1995).

Es importante considerar que el ácido galacturónico es estable, es decir, no resulta alterado en los procesos de extracción de la pectina. Sin embargo, muchos de los carbohidratos que forman parte de la pectina pueden sufrir una hidrólisis parcial durante el proceso de extracción de la misma (Link and Dickson, 1930).

Se estimó el contenido de ácido galacturónico, determinando el contenido de ácidos urónicos, los cuales se establecieron por el contenido de ácido anhidrouónico (AUA), un alto contenido de ácidos urónicos es indicativo de que la molécula de pectina se ha fragmentado, ya sea por acción enzimática o por la hidrólisis durante la extracción (Link and Dickson, 1930). Es importante recalcar que los ácidos urónicos resultan algo inestables en ácidos minerales calientes, de allí que fue utilizado un ácido orgánico como el ácido cítrico en este estudio.

En este sentido, Salazar y col. (1987), para pectinas obtenidas de variedades de mango Haden, Kent y Keitt, establecieron rangos de AUA entre, 40,88% a 61,58%. Mientras que, Pedroza y col. (1994), determinaron valores de AUA en dos situaciones experimentales, en la primera situación consideraron, un pH de extracción de 2,5, un tiempo de hidrólisis de 30 minutos y una relación sustrato: solución ácida de 30:70, donde obtuvieron un contenido de AUA de 61,76%; en la segunda situación experimental, el pH: 3,0, tiempo de hidrólisis de 60 minutos y una relación sustrato: solución ácida de 20:80, obteniendo, 67,36% de AUA.

De igual manera, Ferreira y col. (1995), determinaron el contenido de ácido anhidrouónico de la pectina por absorbancia a 532 nm, reportando valores que van desde 44,97 g/100g a pH de 3,4 y tiempo de hidrólisis de 60 minutos, y 68,15 g/100g de AUA a pH: 3,2 y tiempo de hidrólisis de 75 minutos. Para la pectina comercial obtuvieron 74,87 g/100g de AUA.

Butriago (1998), realizó determinaciones de ácido anhidrogalacturónico (AAG) en pectinas obtenidas de mangos de las variedades Bocado y Haden a los cuales evaluó mediante dos métodos de extracción; en frío, alcanzando 29,14% utilizando mango Bocado y 26,47% para Haden; en caliente, consiguió obtener 46,47% en la pectina obtenida del mango Bocado y 39,15% en la pectina proveniente del mango

Haden. A su vez Gaeta (1999), señala valores de AAG para pectinas de mangos de las variedades Smith y Manzana en 36,39% y 43,14% respectivamente y para la mezcla de Smith y Manzana 40,84% de AAG. Villalobos (1990), a su vez reporto valores de AUA entre, 36,92 – 93,37% para pectinas ensayadas.

Como se detalló, en los resultados obtenidos en este trabajo, el mayor porcentaje de ácido anhidrouónico se logró a pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos, a pesar que en los resultados no se observó un patrón como tal, concordaron con los valores obtenidos por Ferreira y col. (1995) y los de Pedroza y col. (1994), por lo que se puede inferir que a un mayor tiempo de hidrólisis ocurre una mayor fragmentación de la molécula de pectina, por lo que el contenido de ácido galacturónico tenderá a ser menor.

#### **4.5.5. Consistencia de los Geles preparados con las muestras de pectinas ensayadas**

Para la determinación de la consistencia de los geles preparados, se reportaron los valores obtenidos, ya que como se detalló en el capítulo de materiales y métodos, solo se pudo realizar para tres muestras, ya que en el resto el volumen de pectinas obtenidas en los ensayos resultó insuficiente para llevar a cabo la preparación de los geles; además, este es un objetivo adicional evaluado en esta investigación. Los resultados se reportan a manera de información en la Tabla 27.

**Tabla 27.** Consistencia de los geles preparados con las pectinas obtenidas de las muestras de las cáscaras de mangos

pH	Tiempo de Hidrólisis (min.)	Consistencia en cm/30''	° Brix Finales	pH final
1,5	40	0,83 ± 0,28	52	2,78
1,5	80	7,33 ± 0,57	48	2,97
2,0	80	6,66 ± 0,57	70	3,05

Valores expresados como media ± desviación estándar

Número de réplicas = 3

Evaluar la consistencia de los geles de pectina resulta un factor importante, ya que la pectina tiene mayormente un uso agroindustrial como gelificante o estabilizante. La firmeza o consistencia del gel depende del contenido adecuado de azúcar y ácido que se incorpore, más un rango de pH que resulte óptimo; ya que el pH de la solución de pectina tenderá a disminuir los grupos carboxilatos altamente hidratados y cargados, para dar paso a grupos carboxílicos no cargados y ligeramente hidratados. Esto permite que las moléculas que constituyen la pectina puedan asociarse mediante las llamadas zonas de unión, formando así una red tridimensional que atrapa la solución acuosa de las moléculas de soluto (Pagán, 1995).

Las pectinas de gelificación lenta son las que comúnmente se usan para la producción comercial de jaleas y alcanzan la máxima firmeza a un pH de 3,0 a 3,15. En este caso se trabajó con pectinas de gelificación rápida, basados en el grado de esterificación. El contenido óptimo de sólidos solubles debió estar cercano a 65°brix. Debido al aspecto y consistencia obtenida, se consideró que se presentaron fallas en la acidificación o regulación del pH, en el contenido final de sólidos solubles, ebullición prolongada, la cual probablemente resultó en la hidrólisis de la pectina y en la formulación de una masa de jarabe caramelizado desprovista de los sabores de fruta naturales (Herbstreith y Fox, consultada en 2007).

En este trabajo, como ya se mencionó, solo se logró elaborar geles con tres muestras de las pectinas obtenidas y se determinó la consistencia para tener una idea de la firmeza de los mismos. Estos geles fueron preparados con 5 g de pectina y 15 g de azúcar y 80 g de pulpa de mango. Se consideró, que la pulpa aportaba un porcentaje de azúcar; el promedio de sólidos solubles fue de 17 ° Brix. Entonces, se puede decir, que la pectina tenía unos 32 grados. La generalidad usada en la industria de alimentos son geles con 100 a 150 grados de pectina y 65 ° Brix.

En ese sentido, Buitriago (1998), preparó formulaciones de geles de pectina obtenidas de dos métodos de extracción (en frío y caliente) de mangos variedades, Bocado y Haden. Las formulaciones probadas fueron: F1: 60 g de azúcar, F2: 60 g de azúcar y calcio y F3: 30 g de azúcar y calcio. Obteniendo como resultado, en las muestras de pectina obtenidas de mango Bocado en extraído en frío se formó gel con todas las formulaciones; en caliente solo con la formulación F3. Sin embargo, cuando utilizó el mango Haden, para la extracción de pectinas en frío solo formo gel con la formulación F1 y en caliente con la F3.

De igual manera, Gaeta (1999), preparó las mismas formulaciones de geles de pectina de mangos variedades Smith y Manzana. Reportando, que con pectinas provenientes de mango Smith se formó gel con las formulaciones 1 y 3, Con la pectina del mango Manzana se formó gel con todas las formulaciones y con la combinación de mango smith y manzana, se formó solo con las formulaciones 2 y 3.

En este estudio solo se preparó una formulación, pero con diversos grados de pH y obteniéndose variación en los grados Brix (anterior Tabla 27). Lográndose, la mejor consistencia, pH final y grados Brix con la pectina obtenida a pH 1,5 y tiempo de hidrólisis 80 minutos.

#### **4.6. Determinación de la pectina de mejor calidad obtenida en los ensayos realizados en base a los estándares del Food Chemicals Codex (FCC) para pectinas comerciales.**

Es importante señalar que esta determinación se estableció relacionando los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros evaluados en las pectinas obtenidas en este estudio, considerando además, las especificaciones del Food Chemicals Codex (FCC) ha establecido para pectinas comerciales.

En este sentido, todas las pectinas obtenidas presentaron contenidos de humedad (>12%) de acuerdo a lo indicado por el FCC para pectinas comerciales; Sin embargo, consideramos que se deben establecer mejoras en esta etapa de secado de las pectinas, a fin de disminuir tiempos de secado y mejorar las condiciones de almacenamiento para evitar la adsorción de humedad del medio. El menor % de humedad (1,67) se logró a pH 1,5 y tiempo de hidrólisis de 60 minutos.

En el caso de las cenizas totales, todas las pectinas obtenidas a los rangos de pH y tiempos de hidrólisis considerados en este estudio resultaron menores del 10%. Para las cenizas insolubles en ácidos, las cuales deben ser  $\leq 1\%$ , solo se cumplió con este requisito en aquellas pectinas obtenidas a pH de 2,0 y 2,5 en todos los tiempos de hidrólisis considerados.

Entre los parámetros considerados que resultan de gran importancia dependiendo del uso al que se destinará la pectina se encuentran el grado de esterificación y el porcentaje de metoixilos. En todas las pectinas obtenidas y evaluadas en este estudio el grado de esterificación fue >50%, por lo que son pectinas de alto grado de esterificación; el contenido de metoxilos resultó de igual manera >8% en todas las pectinas evaluadas, por lo que se puede esperar que las pectinas obtenidas presenten un alto poder gelificante.

La pureza de las pectinas generalmente se determina mediante el contenido de ácidos anhidrouónicos (AUA), los cuales deben ser mayores de 70%, valores menores son indicativo de que ha ocurrido una fragmentación de la pectina, ya sea por hidrólisis o acción enzimática. En este estudio, solo dos de las pectinas obtenidas presento altos valores de AUA, a pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 40 minutos se logró obtener una pectina con 71,93% de AUA y en las condiciones de ensayo a pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos se consiguió una pectina que presentó 75,87% de AUA.

Considerando estos resultados, el mejor conjunto de valores lo presentaron las pectinas obtenidas en las condiciones de ensayo de pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 40 minutos y a pH 2,0 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos. En donde el parámetro a considerar para adecuar sería el contenido de humedad que resulto mayor a 1%.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

De los resultados obtenidos y su discusión podemos concluir,

El ácido cítrico diluido en agua destilada a 85 °C resultó un agente extractante adecuado de las pectinas de las cáscaras de mangos. De igual manera, el alcohol isopropílico a 70% v/v, logró precipitar los coágulos de pectinas l

El mayor rendimiento de pectina seca se obtuvo a pH 1,5 y tiempo de hidrólisis de 80 minutos.

A 85°C, la variación del e pH constantes y los tiempos de hidrolisis, no influyeron significativamente en el porcentaje de pectina obtenida (rendimientos) no aumento significativamente.

El contenido de humedad que se determinó en las muestras de pectinas obtenidas resultó menor al 12%, cumpliendo con lo establecido por la Food Chemicals Codex (FCC) para pectinas comerciales.

El contenido de metoxilos varió entre 9,81 y 26,35 %, por lo que se clasifican a las pectinas obtenidas como de alto contenido de metoxilos.

El grado de esterificación varió de 77,64 – 98,73 %, por lo que la pectina extraída corresponden a una pectina de alto grado de esterificación y metoxilación y considerandose de rápida gelificación.

La disminución en el pH, produce una disminución del grado de esterificación, posiblemente debido al aumento de la hidrólisis de los ésteres de los carboxilos metilados.

El contenido de ácido anhidrouónico (AUA) de la pectina cruda varió entre, 31,71 – 75,87%. Las pectinas obtenidas no presentaron un alto grado de pureza.

Para las muestras de pectinas obtenidas, el contenido de cenizas totales, se encontró entre 5,67 a 11,0 % y el de cenizas en ácido osciló entre, 0,67 a 3,00 %.

La acidez libre (meq de carboxilos libres / g), estuvo entre, 0,05 y 0,46. Observándose que la acidez libre tendió aumentar a medida que el pH del medio de extracción era menos ácido.

Los pesos equivalentes obtenidos de las muestras analizadas son bastantes altos, 1098,99 y 9444,44 (mg/meq) si se comparan con los reportados en las revisiones realizadas. Los valores conseguidos, indican una gran cohesión de sus moléculas; Sin embargo, estos valores no fueron constantes.

Las muestras de pectina con mayores características favorables, de acuerdo a lo establecido en las especificaciones del Food Chemicals Codex (FCC), resulto ser la muestra obtenida a pH 2,0 y a los tiempos de hidrólisis de 40 y 80 minutos. Lo que indica, que no son compatibles las condiciones con las que se obtienen, las muestras de mayor poder gelificante, con las de mayor rendimiento.

Las muestras de pectinas obtenidas cumplen con los parámetros del Food Chemicals Codex (FCC), estableciéndose limitaciones en el contenido de ácido anhidrouónico (AUA). Sin embargo, se obtuvo a condiciones mucho más suaves que la muestra que presentó el mayor rendimiento.

Los geles de pectinas se elaboraron con las pectinas que presentaron mayor rendimiento. Sin embargo, eran las que presentaron menores valores en el resto de los parámetros, lo que tal vez también influyó en la calidad de los geles obtenidos.

La formulación de los geles de pectina se pudo ver afectada por el alto contenido de sólidos solubles que presentó la pulpa de mango que se utilizó para la elaboración de los mismos. Sin embargo, el gel elaborado con la pectina obtenida en las condiciones de ensayo de pH 1,5 y tiempo de hidrólisis de 40 minutos presento una adecuada consistencia y pH final (2,78), pero los grados Brix obtenidos resultaron bajos (52).

## **5.2. Recomendaciones,**

Evaluar el rendimiento y las características físico - químicas de las pectinas extraídas con ácido cítrico, variando la relación cáscara de mango: solución ácida, los rangos de temperatura y manteniendo constantes las condiciones en las que en este trabajo se ha obtenido la pectina de mejor calidad.

Considerar para futuros ensayos las proporciones de cada variedad de mango que puedan estar presente en la muestra a evaluar.

Utilizar alcoholes de mayor concentración que permitan una precipitación de la pectina en menor tiempo y la obtención de un coágulo más firme.

Considerar métodos para la recuperación del alcohol utilizado en el proceso de precipitación de las pectinas, con la finalidad de hacer más eficiente el mismo y disminuir costos.

Realizar ensayos de extracción a partir de procesos que no involucren calentamiento, evaluar otros agentes extractantes y comparar las propiedades químicas de las pectinas obtenidas.

Mejorar las condiciones de secado de la pectina obtenida, a fin de disminuir los tiempos de secado.

Evaluar la variación de los rangos de temperatura en el rendimiento y características físico-químicas de las pectinas.

Realizar los ensayos purificando o concentrando la pectina obtenida, a fin de obtener valores más adecuados para comparaciones.

Extender los ensayos para evaluar propiedades físicas de los geles de pectinas.

Evaluar varias formulaciones que permitan determinar la más adecuada para elaborar geles de consistencia y viscosidad convenientes.

## **CAPÍTULO VI**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Addosio, R., Páez, G., Marín, M., Mármol, Z. y Ferrer, J. 2005. Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de la parchita (*Pasiflora edulis* f. *Flavicarpa* Degener). Rev. Fac. Agron. Vol. 22. N° 3. Julio. En: WWW.scielo.br. Consultada en agosto de 2006.

Arriola, M. 1986. Posibilidades de industrialización de las frutas tropicales. En: Mesa redonda de la Red Latinoamericana de Agroindustria de Frutas Tropicales. Colombia.

Avilán, L., Soto, E., Azuke, M., Escalante, H., Rodríguez, M. y Ruiz, J. 2003. Manejo de altas densidades de población de mango. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, CENIAP HOY. N° 1. Enero-abril.

Avilán, L. y Rengifo, C. 1990. El Mango. Editorial Acribia. Caracas.

Avilán, L., Rengifo, C., Dorantes, I. y Rodríguez, M. 1993. El Cultivo del Manguero en Venezuela. FONAIAP Divulga N° 42. Enero-Junio.

Agrotendencias Revista electronica. 2006. La comercialización de las frutas en Venezuela. En: www.agrotendencias.com. Consultada en agosto de 2006.

BeMiller, J. 1986. An introduction to pectins structures and properties. En: Fishman, M. Y Jen, J. (eds). Chemistry and Fuction pectins. Washintong (DC): American Chemical Society, 1986. pp. 2-12.

Bernardini, N., Ködler, M., Schieber, A. and Carle, R. 2005. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6: 442 – 452. En: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Consultada en diciembre de 2006.

Berlitz, H.D. y Grosch, W. 1988. *Química de los alimentos*. 2ª edición. Editorial Acribia, S.A. España.

Bravo, C. 1981. Caracterización de las sustancias pécticas y enzimas pécticas de la lechosa (*Carica papaya* L.) y su relación con la gelificación de la pulpa. Tesis de grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.

Buitriago, M. 1998. Aprovechamiento Integral del Mango (*Mangifera indica* L.). Utilización de la piel como fuente de pectina. Trabajo especial de grado para optar al título de Licenciado en Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Camejo, C., Ferrer, A., de Ferrer, B., Peña, J. y Cedeño, M. 1990 a. Extracción y caracterización de pectinas en limones injertados en la región zuliana. *Rev. Fac. Agron. (Luz)* 13: 641-645.

Camejo, C., Ferrer, A., de Ferrer, B., Peña, J. y Cedeño, M. 1990 b. Extracción y caracterización de pectinas en toronjas injertados en la región zuliana. *Rev. Fac. Agron. (Luz)* 13: 647-652.

Canteri, M., Ramos, H., Waszczynskyj, N., Wosiacki, G. 2005. Extractin of pectin from apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 48. (2): 259- 266.

Carbonell, E., Costell, E. y Duran, L. 1990. Determinación del contenido de pectinas en productos vegetales. *Rev. Agroq.Tecnol.Alim.*30/1: 1-9.

Cevallos, Giovanna. 2006. El mango. Economía alimentaria. En: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Consultada en 2007.

Charley, H. 1997. Tecnología de alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. México: Limusa, Noriega Editores.

Chiang M. 2006. Extracción and physicochemical characteristics of acid-soluble pectin from raw papaya (*Carica papaya*) peel. *J. Sci.*; 33(1): 129-135.

Coulter, T. 1996. Manual de química y bioquímica de alimentos. 2ª edición. España: Editorial Acribia, S.A.

CNP, Departamento de desarrollo de productos. 1998. Industrialización del mango. En: [cnp.go.cr](http://cnp.go.cr). Consultada en 2007.

Darvill, A., McNeil, M., Albersheim, P. y Delmer, D. 1980. The primary cell walls of flowering plants. En: Stumpf, P.K. y Conn, E. (eds.). *The Biochemistry of plants*. San Diego (Calf.): Academic Press. 1: 91-161.

Desrosie, N. 1981. Conservación de los alimentos. México, D.F.: Editorial Continental. pp. 321-322.

Devia, J. 2003. Proceso para producir pectinas cítricas. *Rev. Universidad Eafit*, Colombia. Enero- Marzo, N° 129: 21 – 30.

De Vries, J., Den Uijl, C., Voragen, A., Rombouts, F., Plinik, W. y Visser, J. 1983. Structural features of the neutral sugar side chains of apple pectic substances. *Carbohydrate Polymers* 3: 193-205.

Dominic, W. y Wong, S. 1989. *Química de los alimentos: mecanismos y teoría*. España: Editorial Acribia, S.A.

Edress, H. 1991. Cap. 12. En : *The chemistry and technology of pectin*. Walter, R. (ed.). Academia Press. New York.

FAO. 1981. Pectins. Comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios (JECFA). En: [www.fao.org/ag/agn/Jecfa-additives/specs/monogrph1/additive-306.pdf](http://www.fao.org/ag/agn/Jecfa-additives/specs/monogrph1/additive-306.pdf). Consultada el 18 de mayo de 2007.

FAOSTAT.2007. FAO Statistic, Food and Agricultura Orgaization of the United Nations. Rome, Italy. En: <http://faostat.fao.org>. Consultada en 2007.

Fennema, O. 1993. *Química de alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A. pp. 141-143.

Ferreira, S., Peralta, A. y Rodríguez, G. 1995. Obtención y caracterización de pectina a partir de desechos industriales del mango (Cáscara). *Rev. Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*. 24: 29-34.

Ferreira, S. 1976. Aislamiento y caracterización de las pectinas de algunas variedades de frutas cítricas colombianas. *Rev. Colombiana de ciencias químico-farmacéuticas*. 3: 1-25.

Gaeta, M. 1999. Aprovechamiento integral del mango (*Mangifera indica* L.). III. Evaluación de la pectina extraída de la piel de mango de las variedades Smith y Manzana y del injerto Smith / Manzana. Tesis para optar al título de Lc. En Biología. Fac. Ciencias. Universidad Central de Venezuela.

Goycoolea, F. y Cárdenas, A. 2001. Propiedades gelificantes de la pectina del Nopal. En: [www.ciad.mx/boletin/sep-oct.01/boletin5.pdf](http://www.ciad.mx/boletin/sep-oct.01/boletin5.pdf). Consultada en 2007.

Hart, F. y Fisher, H. 1984. Análisis moderno de los alimentos. Editorial Acribia. España.

Herbstreith & Fox Corporate Group. Gelling properties of high methylester classic apple pectins and classic citrus pectins: Comparison in dependence from degree of esterification and setting time. En: [www.herbstreith.fox.de](http://www.herbstreith.fox.de). Consultada en 2007.

Herbstreith & Fox Corporate Group. Low methylester, amidated pectin. En: [www.herbstreith.fox.de](http://www.herbstreith.fox.de). Consultada en 2007.

Hoondal, G.S., Tiwari, R.P., Tewari, R., Dahiy, N y Beg, Q.K. 2002. Microbial alkaline pectinases and their industrial applications: A review. *Applied Microbiology and Biotechnology* 59: 409:418.

INCA Rural. 2004. Manual Tecnológico: Frutales. SAGARPA, México. 44 pág.

Jarvis, M., Foryth, W. y Duncan, H. 1988. A survey of pectin content of nonlignified of monocot cell walls. *Plant physiol.* 88: 309-314.

Kashyap, D., Vohra, P., Chopra, S. y Tewari, R. 2001. Applications of pectinases in the comercial sector: A rewiw *Bioresource technology* 77: 215-227.

Kimball, D. 1999. *Procesado de Cítricos*. España: Editorial Acribia, S.A.

Less, R. 1984. *Analisis de los alimentos. Métodos analíticos y de control de calidad*. Editorial Acribia. España, 2ª edición.

Linden, G., Lorient, D. 1994. *Bioquímica agroindustrial. Revalorización alimentaria de la producción agrícola*. España: Editorial Acribia, S.A. 427 pág.

Link and Dickson. 1930. The preparation of d-Galacturonic acid from lemon pectin acid. *Journal of Biological Chemistry*. 86 (2).

May, C. 1990. Industrial pectins: sources, production and applications. *Carbohydr. Polymers* 12 : 79 – 99.

Mc Comb, E. and Mc Ready, R. 1957. *Anal. Chem.* 29: 819.

Meléndez, J., Castellanos, P., Cañongo, G. y Machado, L. 1999. *Potencialidades del estado Aragua para la producción de mangos para la exportación*. Papeles de Fundacite Aragua. Maracay. 54 pp.

Morerias, O., Carvajal, A., Cabreral, L. y Cuadrado, M. 2001. *Tabla de composición de alimentos*. Ediciones pirámide. Madrid.

Nutraceutical. 2006. *Producción de pectina organica*. En: [www.nutraceuticalgroup.com](http://www.nutraceuticalgroup.com). Consultada en septiembre de 2006.

Nacional Research Council. 1931. Especificaciones del Food Chemicals Codex (FCC) para pectinas comerciales. En: Kimball, D. 1999. Procesado de Cítricos. España: Editorial Acribia, S.A.

Pagán, J. 1995. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo del melocotón. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Salamanca. 154 pp.

Pap, N., Pongrácz, E., Myllykoski, L.y Keiski, R. 2004. Waste minimization and utilization in the food industry. Junio. University of Oulu, Finland. Oulu University Press. Pág. 159: 168.

Pedroza, R., Aguilar, E.y Vernon, E. 1994. Obtaining pectins from solids wasted derived from mango processing. Aiche symposium series, 90 (300): 36-41.

Pérez, S., Mazeau, K. y Du Pen Hoat, C. 2000. The Three dimensional structures of the pectic polysaccharides. Plant physiology and Biochemistry 38: 37-55.

Rees, D., Morris, E., Thom, D. y Madden, J. Shaeps and interactions of carbohydrate chains. Citado en: Soriano, M. 2004. Analisis de sistemas pectinolíticos bacterianos. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, España.

Rivas, N. 1984. Caracterización fisicoquímica y adaptabilidad al procesamiento industrial del mango Rosa Criollo, cultivado en el oriente de Venezuela. Rev. Fac. Agron. (Maracay), 13 (1-4): 275-290.

Rodríguez, T. 2001. Aprovechamiento integral del mango VI. Evaluación del mango variedad Hilacha fisiológicamente maduro como fuente de pectina. Trabajo

Especial de Grado para optar al título de Lic. En Biología. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Salazar, E., Paz, S. y Mata, M. 1987. Cuantificación y caracterización de pectinas en cáscaras de mango. *Gest. Technol*, 6: 53-58.

Schieber, A., Berarchini, N. y Carle, R. 2004. Recovery of Pectin and Polyphenolics from Apple Pomace and Mango Peels. En: Edited by: Keith Waldron, Craing Faulds and Andrew Smith. *Total Food/ Exploiting Co-Products- Minimizing Waste*. Inglaterra. pp. 144 – 149.

Schultz, T. 1965. Determination of the degree of esterification of pectin, determination of the esther methoxyl contenido f pectin by saponification and titration. En: *Methods in carbohydrate chemistry*. Vol. 5 : 189. New York.

Serna, J. y Becerra, L. 1987. Manual práctico de frutales. 7ma edición, N° 91 – 92. Temas de orientación agropecuaria. Colombia.

Serra, J., Alkorta, I., Llama, M. y Alaña, A. 1992. Aplicación Industrial de las enzimas pécticas. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 11: 127-134.

Sharman, N., Dhuldhoya, N., Merchant, S. and Merchant, U. 2006. An Overview on pectins. *Times food processing Journal*, June-July. India. 44-51.

Terranova Enciclopedia Agropecuaria. 1995. Producción agrícola 1. Terranova editores. Colombia. 213: 214.

Turquois, I., Rinaudo, M., Travel, F. y Heraud, A. 1999. Extraction of highly gelling pectic substances from sugar beet pulp and potato pulp : influence of extrinsic parameters on their gelling properties. *Food Hydrocolloids* 13: 255-262.

Van Buren, J. 1991. Function of pectin in plant tissue structure and firmness. En walter, R.(ed). *The chemistry and technology of pectins*. San Diego (California): Academia press, Inc., pp. 1-22.

Villalobos, D. 1990. Extracción de Pectina a partir de la Concha del Mango. Tesis para Optar al Título de Ingeniero químico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia.

Virk, B. y Sogi, D. 2004. Extraction and Characterization of Pectin from Apple Peel Waste. *International Journal of Food Properties*. 7 (3): 693-703.

Walter, R. 1991. *The chemistry and technology of pectin*. Ed. Academic Press. USA. Cap. VIII. pp. 147:149.

Willats, W., Knox, J. and Mikkelsen, J. 2006. Pectin: new insights into an polymer are starting to gel. *Food and Science & Technology* 17: 97-104.

Yúfera, E. 1998. *Química de los alimentos*. Editorial Síntesis. Madrid, España.

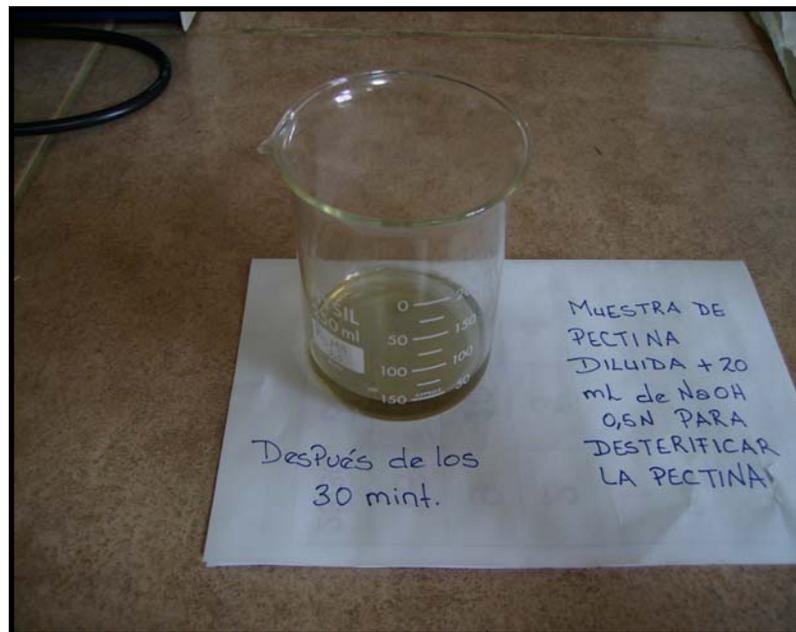
## ANEXOS



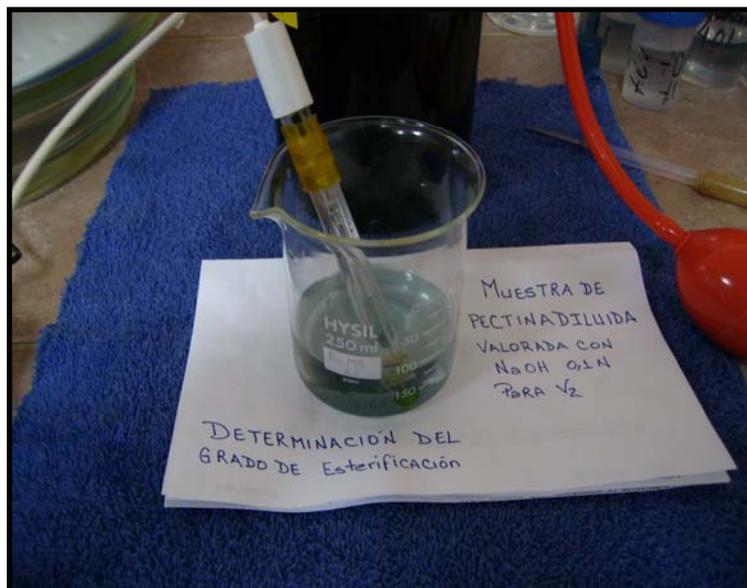
Mezcla de cáscaras de mango de las variedades: Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado, troceadas para la obtención de pectinas.



Muestras de las pectinas crudas secas obtenidas de las cáscaras de mangos.



Ensayo para lograr la desesterificación de las muestras de pectinas evaluadas para determinar grado de esterificación (Valoración A), de acuerdo a la metodología de Schultz (1965).



Ensayo para contabilizar metoxilos totales esterificados de las muestras de pectinas evaluadas para determinar grado de esterificación (Valoración B), de acuerdo a la metodología de Schultz (1965).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

TÍTULO	Aprovechamiento De Los Residuos Obtenidos Del Proceso De Despulpado Del Mango (Mangifera Indica L.), De Las Variedades Smith, Tommy Atkins, Haden Y Bocado Como Materias Primas Para La Obtención De Pectinas.
SUBTÍTULO	

**AUTOR (ES):**

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Gamboa B., Mireida G.	CVLAC: 12.075.927 E MAIL: miregamboab@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Pectinas  
Mangos  
Ácido cítrico  
Cáscaras  
Hidrólisis ácida  
Alcohol isopropílico  
Residuos

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÀREA	SUBÀREA
Coord. General de Postgrado	Maestría en Ciencias de los Alimentos

**RESUMEN (ABSTRACT):**

En el presente trabajo se evaluó la factibilidad de obtener pectinas de uso agroindustrial utilizando los residuos del despulpado (cáscaras) de cuatro variedades de mango (Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado) de la empresa Frutorca, C.A. El interés de trabajar en la obtención de pectinas de los desechos generados del proceso de despulpado del mango, se basa en gran parte a su creciente demanda como aditivo en la industria agroalimentaria por su capacidad gelificante y espesante, aunado a esto su aumento de consumo por la versatilidad de aplicaciones que tienen en diversos sectores industriales. Para ello, se determinaron las características físicoquímicas de las pectinas extraídas por hidrólisis ácida con ácido cítrico y precipitación de las mismas con alcohol isopropílico al 70% v/v, con el propósito de efectuar el proceso de obtención de las pectinas con insumos accesibles y disponibles en la planta; evaluandose tres rangos de pH (2,0, 2,5 y 3,0) y tres tiempos de hidrólisis (40, 60 y 80 minutos).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E MAIL				
	Duerto L., Sheyla M.	ROL	CA	AS	TU X
CVLAC:		8.492.694			
E MAIL		sheylal@cantv.net			
E MAIL					
Salazar de M., Edith	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	4.876.911			
	E MAIL	edithsa10@hotmail.com			
	E MAIL				
Belén C., Douglas	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	7.014.067			
	E MAIL	biomoleculasdrbe@hotmail.com			
	E MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E MAIL				
	E MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2009 AÑO	03 MES	13 DÍA
-------------	-----------	-----------

LENGUAJE. SPA

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Pectinas de Mango.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H  
 I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y  
 z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Ciencia de los Alimentos (OPCIONAL)

TEMPORAL: un año y dos meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Magíster Scientiarum en Ciencias de los Alimentos

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Magíster

ÁREA DE ESTUDIO:

Coord. De Postgrado / Postgrado en Ciencias de los Alimentos

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****DERECHOS**

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado, “Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

**Mireida Gamboa B.***AUTOR**AUTOR**AUTOR***Sheyla Duerto**

TUTOR

**Edith Salas**

JURADO

**Douglas Belén**

JURADO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS