

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARAS  
DE PLÁTANO PARA DESARROLLAR UN  
DISEÑO GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN**

**ESTEBAN CABARCAS HENAO  
ADRIAN FERNANDO GUERRA BENEDETTI  
CESAR AUGUSTO HENAO BALSEIRO**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2012**

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE  
CÁSCARAS DE PLÁTANO PARA DESARROLLAR UN  
DISEÑO GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN**

**ESTEBAN CABARCAS HENAO  
ADRIAN FERNANDO GUERRA BENEDETTI  
CESAR AUGUSTO HENAO BALSEIRO**

**TRABAJO DE GRADO**

**Directora  
MARIA TEREZA ACEVEDO MORANTES  
Ingeniera Química**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2012**

Cartagena de Indias D. T. y C., 17 de Mayo 2012

Señores:

**COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS DE GRADO**

Programa de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de Cartagena

Cordial Saludo:

En mi calidad de director, presento a ustedes el siguiente informe final del trabajo de grado titulado “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA APARTIR DE CÁSCARAS DE PLÁTANO, PARA DESARROLLAR UN DISEÑO GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN”, elaborado por los estudiantes Esteban Cabarcas, Adrian Guerra y Cesar Henao, pertenecientes al programa de Ingeniería Química.

Manifiesto mi participación en la orientación y mi conformidad con el resultado obtenido.

Atentamente,

---

María T. Acevedo  
Director de tesis  
Programa Ingeniería Química

Cartagena de Indias D. T. y C., 17 de Mayo 2012

Señores:

**COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS DE GRADO**

Programa de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de Cartagena

Estimados Señores:

A continuación presentamos a su consideración el informe final del trabajo de grado titulado “Evaluación De La Biodegradación De Bolsas Plásticas Comerciales Con Aditivos Oxo”, como requisito para solicitar el título profesional de Ingeniero Químico en la Universidad de Cartagena.

Agradecemos de antemano su atención a este trabajo.

Atentamente,

---

Esteban Cabarcas  
Cod.0230610017

---

Adrian Guerra  
Cod.0230610038

---

Cesar Henao  
Cod.0230610047

## CONTENIDO

RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
1. OBJETIVOS	2
1.1. General	2
1.2. Específico	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. MARCO REFERENCIAL	5
4.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	5
4.2. MARCO TEÓRICO	7
4.2.1. Pectina	7
4.2.2. Clasificación de las sustancias pécticas	7
4.2.2.1. Protopectinas	8
4.2.2.2. Ácidos pectínicos	8
4.2.2.3. Pectinas	8
4.2.2.4. Ácidos pécticos	8
4.2.3. Composición química y estructura de la pectina	8
4.2.3.1. Pectinas de alto metoxilo	9
4.2.3.2. Pectinas de bajo metoxilo	9
4.2.4. Propiedades fisicoquímicas de la pectina	10
4.2.4.1. Solubilidad	10
4.2.4.2. Acidez	10
4.2.4.3. Viscosidad	10
4.2.4.4. Poder de gelificación	10
4.2.4.5. Longitud de cadenas	11
4.2.4.6. Peso molecular	11
4.2.4.7. Acción de las bases	11

4.2.4.8.	Acción de los ácidos	11
4.2.4.9.	Acción de las enzimas	12
4.2.4.10.	Extracción enzimática de pectina	12
4.2.4.11.	Aplicaciones de la pectina	13
5.	METODOLOGÍA	14
5.1.	Tipo de investigación	14
5.2.	Recolección de información	14
5.2.1.	Fuente primaria	14
5.2.2.	Fuentes secundarias	14
5.3.	Población y muestra	14
5.4.	Variables	15
5.5.	Diseño de experimentos	16
5.6.	Procedimiento general	17
5.6.1.	Inactivación de enzimas pécticas	18
5.6.2.	Hidrólisis ácida	18
5.6.3.	Precipitación	19
5.6.4.	Esquemmatización del proceso a emplear	19
5.7.	Análisis de la información	20
5.7.1.	Determinación del contenido de humedad	20
5.7.2.	Determinación del contenido de cenizas	21
5.7.3.	Determinación del peso equivalente y de acidez libre	21
5.7.4.	Determinación del contenido de metoxilo	21
5.7.5.	Determinación del grado de esterificación	22
6.	DISCUSIÓN Y RESULTADOS	23
6.1	Preparación de la muestra y extracción	23
6.2	Análisis experimental y caracterización	23
6.2.1	Muestra de pectina a diferentes condiciones de extracción	23
6.2.2	Rendimiento	24
6.2.3	Contenido de Humedad	25
6.2.4	Contenido de Cenizas	26

6.2.5	Peso Equivalente y Acidez Libre	29
6.2.6	Contenido de Metoxilo y Grado de Esterificación	31
6.2.7	Análisis Espectro Infrarrojo	33
7.	DISEÑO GENERAL DE PRODUCCIÓN	36
7.1.	Generalidades y Diagrama del proceso	36
7.2.	Diagrama del Proceso	40
7.3.	Equipos del proceso	41
7.3.1.	Tanque abierto con agitador y chaqueta	41
7.3.2.	Filtro prensa de tela	41
7.3.3.	Tanque de precipitado	41
7.3.4.	Secador de bandejas y molino de bolas	42
7.3	Costo/Beneficio	42
7.3.1	Inventario de materias prima	42
7.3.2	Ingresos por ventas	42
7.3.3	Beneficio/Costo de operación	43
8.	CONCLUSIONES	44
9.	RECOMENDACIONES	
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
11.	ANEXOS	50

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

---

Presidente de jurado

---

Jurado

---

Jurado

Cartagena de Indias, Mayo del 2012

## **DEDICATORIA**

Al Todo Poderoso Dios primeramente por acompañarme en todos mis pasos, permitiéndome avanzar hasta la cumbre de la profesión; A mi madre Q.E.P.D. por su apoyo incondicional mientras estuvo a mi lado compartiendo conmigo el sueño de terminar esta carrera; A María Camila mi novia, por su amor, las fuerzas y el apoyo que me brindó; A mi Hijo que está por nacer, por ser la gran inspiración y fuerza que ayudaron a trabajar con más ánimo en ésta tesis; A mis familiares y amigos por estar pendientes en todo momento de mi camino.

Esteban Cabarcas Henao

Primeramente Dios quien me acompaño es este arduo camino, dándome fuerzas para no desfallecer; A mi madre por sus consejos y apoyo incondicional; A mis amigos de carrera que con inolvidables momentos me llenaron de alegría; a mi novia Estefanía que me llenó de inspiración y de aliento para culminar este proyecto. A todos mis familiares y amigos gracias por creer en mí y por aportar un granito de arena para llegar a la cima.

Adrián Guerra Benedetti

A Dios, nuestro señor. A mi salvador personal por darme la oportunidad de vivir, y darme las virtudes y las fortalezas necesarias para seguir adelante, por colocarme en el mejor camino, por permitir que la sabiduría dirija y guie mis pasos iluminando mi sendero cuando más oscuro ha estado y por bendecirme con una familia maravillosa.

A mis perseverantes padres, Augusto y Delcy, que día a día se enfrentaban a este mundo para darme lo mejor. Ellos con cariño y gratitud me han apoyado en cada momento, por sus consejos, sus valores, por sus ejemplos de responsabilidad y constancia que me han infundido siempre, pero más que todo por su amor.

Cesar Augusto Henao Balseiro

## **AGRADECIMIENTOS**

Los docentes estudiantes expresan sus agradecimientos a:

A la Magíster María Teresa Acevedo, quien con sus acertadas orientaciones y asesorías nos permitió llevar a cabo feliz término la investigación, cuyos resultados frutos aportan enriquecerán al desarrollo y aplicación de la pectina en el ámbito de la Universidad la investigación en el campo de la ingeniería y ciencias.

A los profesores, por los conocimientos adquiridos que nos permitieron y por los cuales alcanzar logramos llevar a cabo este los objetivos de esta investigación y el sueño de convertirnos en profesionales y terminar a feliz término esta investigación.

A la Universidad de Cartagena, por abrirnos sus puertas para cumplir el sueño de ser ingenieros químicos y además por prestarnos sus instalaciones para realizar los experimentos laboratorios para concluir nuestro proyecto de grado.

A Propilco por facilitarnos sus laboratorios para realizar los ensayos relacionados el análisis de infrarojo.

## LISTA DE TABLAS

	PAG
Tabla 1. Rendimiento de pectina	7
Tabla 2. Variables Independientes	15
Tabla 3. Variables Dependientes	15
Tabla 4. Variables Intervinientes	15
Tabla 5. Factores del diseño de experimentos	16
Tabla 6. Respuestas del Diseño de Experimentos	16
Tabla 7. Esquematización del proceso	19
Tabla 8. Rendimientos obtenidos y condiciones de extracción de Pectina a partir de cascara de plátano	24
Tabla 9. Contenido de Humedad	25
Tabla 10. Contenido de Cenizas	28
Tabla 11. Resultados Peso Equivalente y Acidez Libre	30
Tabla 12. Resultados Contenido de Metoxilo y Grado de Esterificación	32
Tabla 13. Equipos seleccionados para el proceso industrial según los datos obtenidos en laboratorio.	36
Tabla 14. Costos de operación basada en reactivos principales	42
Tabla 15. Ingresos por venta de pectina.	43
Tabla 16. Balance beneficio-costos.	43
Tabla 17. Etanol a recuperar para rentabilidad del proceso.	43

## LISTA DE FIGURAS

	PAG
Figura 1. Pectinas con alto grado de metoxilo	9
Figura 2. Pectinas con bajo grado de metoxilo	10
Figura 3. Diseño de Experimentos, Statgraphics	17
Figura 4. Diagrama de flujo de extracción de pectina propuesto por lo Autores	18
Figura 5. Muestras de pectina a diferentes condiciones de extracción	23
Figura 6. Crisoles sometidos al calor (desprendimiento de humos)	27
Figura 7. Crisoles dentro de la mufla para calcinación	27
Figura 8. Solución de Pectina, para uso de técnica de Owens	29
Figura 9. Solución de Pectina, luego de la titulación (técnica de Owens)	30
Figura 10. Solución inicial para determinación de Contenido de Metoxilo	32
Figura 11. Solución Titulada con Soda, para el Contenido de Metoxilo	32
Figura 12. Espectro IR de la Pectina estándar rapid set	34
Figura 13. Espectro IR de la pectina extraída de la cascara de plátano a pH 1,5 y temperatura de 80°C	35
Figura 14. Diagrama Proceso de extracción	40

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. ESPECTRO INFRARROJO DE PECTINA DE MANZANA RAPID SET Y LOW SET	60
ANEXO B. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA Y EXTRACCIÓN	61

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo la extracción y caracterización de la pectina a partir de la cáscara de plátano verde (Hartón Musa AABsimmonds), la cual es una materia prima de alta disponibilidad en la costa Caribe Colombiana y está siendo subvalorada. La pectina fue extraída de cáscaras de plátano de diversas pataconeras distribuidas en diversas zonas de la ciudad de Cartagena. La extracción se realizó mediante hidrólisis ácida con HCl en diferentes condiciones de pH (1,5 y 3,0) durante 60 minutos a 60 y 80°C. La calidad de la pectina extraída se evaluó midiendo el contenido de humedad, cenizas, metoxilo, acidez libre, peso equivalente y el grado de esterificación, aplicando un análisis por espectroscopia de infrarrojo. El resultado de la extracción a pH 1,5 a 80°C presentó una composición máxima en base seca (23,06% p/p), pero con mayor contenido de cenizas, humedad y de coloración muy oscura. (1.7% y 6.8%). La pectina obtenida a pH 3,0 y temperatura 60 °C fue la de mejor calidad según los valores de humedad y contenido de cenizas pero con el mas bajo rendimiento. Las condiciones optimas para un equilibrio entre rendimiento y calidad son pH 1.5 a 60°C debido a que posee características competitivas dentro de su tipo (cenizas 1.3%, humedad 1%, coloración café claro) para ser destinada a industria de alimentos con un alto rendimiento 18.86%. El resultado de la espectrometría de infrarrojo para la pectina con óptimas condiciones de equilibrio entre calidad y rendimiento, confirmó que es de gelificación rápida. Las pectinas evaluadas son de bajo metoxilo, de acuerdo a los resultados obtenidos en el contenido de metoxilo. Con referencia las condiciones de laboratorio y al comportamiento de la pectina, se realizó el diseño general, diagrama y descripción detallada de los equipos del proceso de producción de pectina y un análisis económico general en base a los reactivos usados en el laboratorio.

## ABSTRACT

The present work aimed at the extraction and characterization of pectin from the peel of green plantain (*Musa AABsimmonds Horn*), which is a raw material of high availability in the Colombian Caribbean coast and is being undervalued. Pectin was extracted from banana peels of various pataconeras distributed in various parts of the city of Cartagena. Extraction was carried out by acid hydrolysis with HCl in different conditions of pH (1.5 and 3.0) for 60 minutes at 60 and 80 ° C. The quality of the extracted pectin was evaluated by measuring the moisture content, ashes, methoxy, free acidity equivalent weight and the degree of esterification, using an analysis by infrared spectroscopy. The result of the extraction at pH 1.5 at 80 ° C showed a maximum composition on a dry basis (23.06% w / w), but with higher ash content, moisture and very dark color. (1.7% and 6.8%). The pectin obtained at pH 3.0 and temperature 60 ° C was the best quality according to the values of moisture and ash content but with the lowest performance. The optimal conditions for a balance between performance and quality are pH 1.5 at 60 ° C because it has competitive features within its type (1.3% ash, 1% moisture, light brown color) to be allocated to food industry with a high 18.86% yield. The results of infrared spectroscopy for the pectin with optimal conditions of balance between quality and yield, it is confirmed that rapid gelation. Pectins are low methoxyl evaluated according to the results obtained in the methoxyl content. With reference laboratory conditions and the behavior of pectin, we performed the overall design, diagram and detailed description of the equipment of the production process of pectin and a general economic analysis based on the reagents used in the laboratory.

## INTRODUCCION

Colombia produce cerca de 2.7 millones de toneladas anuales de plátano verde dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) [1], cuya pulpa es utilizada principalmente en la industria de alimentos, para la elaboración de harinas, patacón pre-frito congelado y frituras. El residuo principal de estos procesos industriales es la cáscara de plátano hartón, la cual, termina como alimento de bovinos y el resto sólo se desecha y descompone al aire libre. Sin embargo, de éstas cáscaras se pueden obtener productos de alto valor agregado como las pectinas, que por su capacidad para formar geles son de gran importancia en la producción de gelatinas, mermeladas y helados, en la industria farmacéutica e incluso en la producción de plásticos [2]. La mayoría de la pectina utilizada en el país, proviene de importaciones; para el año 2010 se importaron aproximadamente unas 195 toneladas de pectina [3], esto demuestra la insuficiencia de investigaciones dedicadas a éste campo de la industria en Colombia. En la región Caribe hay una gran explotación de plátano que origina una alta producción de residuos de cáscaras, convirtiendo este desecho en materia prima para la investigación de nuevos conocimientos en el área de los biopolímeros para cobijar la demanda de pectina en el país.

La extracción de pectina a partir de cáscaras de plátano ofrece beneficios tanto ambientales como económicos. En esta investigación se presenta un diseño general para la extracción de pectina, que será caracterizada analizando variables como contenido de humedad, contenido de cenizas, peso equivalente, acidez libre, contenido de metoxilo y grado de esterificación para brindar un estudio completo y detallado de sus propiedades y definir la cantidad de pectina presente en la cáscara del plátano. Investigaciones realizadas en la universidad de Zulia en Venezuela, arrojan buenos resultados en el rendimiento, de 20,68% para el plátano a pH de 2,0 comparado con un 7,59% en las mismas condiciones para el melocotón, siendo un referente para nuestro proceso de extracción. La pectina debe presentar características óptimas en su grado de esterificación y carboxilos libres para competir en los mercados nacionales (Anexo 1 y 2).

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. General**

Extraer y caracterizar la pectina a partir de la cáscara del plátano dominico-hartón (Musa AAB Simmonds), con el fin de proponer un diseño general para su proceso de obtención.

### **1.2. Específicos**

- Analizar el comportamiento del producto de acuerdo al método elegido (hidrolisis acida), modificando las variables como: Temperatura y pH con el fin de determinar las condiciones más favorables y eficientes para el proceso.
- Caracterizar la pectina obtenida determinando el contenido de humedad, contenido de ceniza, contenido de metoxilo y grado de esterificación.
- Realizar un diagrama del proceso de obtención de pectina a partir de las cáscaras de plátano, en base a los datos obtenidos en la parte experimental, teniendo en cuenta las condiciones más favorables y eficientes del proceso.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Colombia no produce algunas materias primas empleadas en la industria de alimentos, la industria farmacéutica y otras; entre ellas la pectina. Esta situación crea una dependencia tecnológica de los países que producen este tipo de sustancias. Aunque, existe inversión en el desarrollo de nuevas investigaciones a nivel nacional esta no es suficiente.

El uso de la pectina está enfocado principalmente a la industria de alimentos para la producción de mermeladas, dulces, bocadillos, postres, helados, entre otros, pero esta es importada en su mayoría de distintos países como Francia, Argentina, México, Dinamarca, Brasil, Estados Unidos, y Bélgica, generando altos costos por concepto de importación. Este producto tiene un alto valor comercial a pesar de que a nivel industrial proviene de desechos o productos subvalorados como cáscaras de naranja, mango [2] entre otras.

En la ciudad de Cartagena, el plátano es utilizado en la preparación de comidas típicas; empresas como Continental Foods SA, producen patacones a través del procesamiento del plátano dominico-hartón (Musa AAB Simmonds) para exportación, generando aproximadamente 36 toneladas mensuales de cáscara, las cuales se destinan para la alimentación bovina. Por otra parte hoteles de la ciudad ofrecen a sus huéspedes platos típicos a base de plátano, desechando una cantidad considerable de cáscaras al mes. Evidentemente se producen grandes cantidades de este desecho sin embargo, aun no se aprovechan como materia prima para la producción de pectina.

El procesamiento de pectina a partir de las cascarras de plátano hartón usando hidrólisis acida ofrece un alto rendimiento [4]. Sin embargo la clasificación o el tipo de planta del plátano y por ende la cantidad de pectina, depende de las diferentes variables del cultivo, como la composición de la tierra, la intensidad y tiempo de exposición a la luz solar, y la familia genética a la cual pertenece [5], por esto es necesario realizar una investigación que determine la cantidad y calidad de pectina extraída a partir de la cáscara de plátano cultivado en la región caribe.

### 3. JUSTIFICACION

Las empresas procesadoras de plátano, generan grandes cantidades de residuos (cáscaras), que se convierten en un problema sanitario que propicia la proliferación de insectos, hongos, bacterias y olores por descomposición, pero que a su vez, son usados como alimento para bovinos por su alto contenido en fibras y energía. Esta premisa otorga un área de investigación, en la cual se estudia otros usos para estos desechos que permitan aprovecharlos de manera óptima para obtener distintas sustancias químicas, entre ellas la pectina, útiles para la fabricación de distintos productos en la industria alimenticia, farmacéutica y de plásticos.

Sabiendo de antemano la alta demanda de pectina que se requiere para los diversos productos alimenticios y demás aplicaciones, surge la necesidad de desarrollar un proceso experimental a escala de laboratorio, que vislumbre de manera clara el procesamiento de pectina a partir de las cáscaras del plátano hartón, para definir por caracterización del producto extraído, si la pectina obtenida cumple con los parámetros estándar requeridos a nivel internacional y así posibilitar el desarrollo e implementación de industrias piloto o a gran escala para este procesamiento. En investigaciones realizadas en Venezuela acerca de la producción de pectina a partir del plátano [4], se obtuvo un rendimiento del 20,68% p/p a un pH de 2,0, lo que significa que por cada 100 gramos de cáscara se extrajeron 20,68 gramos de pectina. Se escogió este método de extracción de pectina por hidrólisis ácida, evaluando el proceso entre un pH de 1,5 y 3,0 porque ofrece los mejores rendimientos y los reactivos son de fácil acceso en el laboratorio. Este proyecto aporta información nueva en las investigaciones realizadas en polímeros en el Programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena. Información que sirve de plataforma para impulsar nuevos trabajos que enriquezcan el conocimiento en esta área en el Programa. Teniendo en cuenta que la pectina es utilizada tanto en la industria química, como de alimentos, esta investigación fomenta e incentiva el desarrollo de investigaciones de tipo multidisciplinarias entre los programas de ingeniería química e ingeniería de alimentos.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

La pectina fue aislada por primera vez en 1825 por el químico francés Henri Braconnot. La producción comercial de pectinas comenzó en 1908 en Alemania, a partir de los restos de la fabricación de zumo de manzana. Actualmente se obtienen de los restos de la extracción de zumo de manzana, y sobre todo, de los de la industria de los zumos de cítricos. Existen numerosos procesos patentados e investigaciones que conciernen a la obtención de pectinas, y en cada uno de ellos se obtienen productos de diferente calidad, porque sus propiedades y sus posibles aplicaciones dependen considerablemente del método de obtención.

En la Universidad Nacional de Medellín (Colombia) en el año 2009, se presentó una investigación en la cual la actividad solubilizadora de pectina de Protopectinasa-SE, enzima producida por el hongo levaduriforme *geotrichumkle* fue estudiada utilizando como sustrato albedo del limón (parte interna, blanca y esponjosa de la cáscara) y la protopectina (sustancia péctica insoluble en agua, obtenida del mismo tejido). Bajo condiciones óptimas de reacción se obtuvo rendimientos de 37 y 28 g de pectina/100 g de tejido (base seca) a partir de protopectina y albedo, respectivamente. [6].

Durante el año 2008, en la Universidad de Zulia, Venezuela, se realizó un estudio que tuvo como objetivo la extracción y caracterización de la pectina a partir de la cáscara de plátano (Musa AAB subgrupo plátano, clon Hartón). Los resultados de la espectrometría de infrarrojo confirmaron que la pectina obtenida en condiciones de pH 2.0 y 3.0 es de bajo metoxilo. La pectina obtenida a pH 3,0 posee características competitivas dentro de su tipo para ser destinada a la industria de alimentos.[4].

Universidad Católica de Maule (Chile), finales del año 2005 se desarrolló una investigación concerniente a la extracción de pectina para la producción de jaleas a partir de uvas (*Vitis*

*labrusca* cv. *Concord*), se evaluó el efecto de dos niveles de madurez de la uva (16,6 y 22° °Brix, tres niveles de pH (2, 2,5 y 3) y dos tiempos de cocción a 90°C (45 y 60 min) sobre la extracción de pectinas y su grado de metoxilación (GM). Se recomienda cosechar con 16,6 °Brix y calentar el zumo a pH 2,5 durante 60 minutos para obtener la mejor extracción de pectinas de alto grado de metoxilo, con un rendimiento del 3,84% (base peso fresco) y un grado de metoxilo 70,48 GM, comparable con pectinas HM de alta calidad. [7].

Para el año 2003, en una investigación realizada en Medellín Colombia en la Universidad EAFIT, se presentó un proceso de producción de pectina a partir de cáscaras de naranja a escala piloto, con extracción por hidrólisis en medio ácido y precipitación con alcohol etílico. El producto obtenido presentó buena apariencia y sus características de gelación son comparables con los productos del mercado internacional. [2]

En 1995 en la Universidad Nacional (Bogotá – Colombia), se obtuvo y caracterizó pectina a partir de mango. En esta investigación se aprovechó los desechos industriales del procedimiento del mango común (*Mangifera indica*) se extrajo pectina a escala piloto a diferentes valores de pH (3,2; 3,4; 3,6) y tiempos de hidrólisis (45, 60 y 75 min). Luego se determinó su calidad por determinaciones de cenizas, acidez libre, peso equivalente, grado de esterificación, viscosidad y comportamiento geológico, contenido AUA, calcio, magnesio, hierro y grado de gelificación. Las mejores condiciones de acuerdo a la calidad fueron pH de 3,2 y 75 minutos de hidrólisis, con un rendimiento de 23 a 24%. [8]

Para aprovechar las cáscaras resultantes de la extracción de jugos de fruta de galgal (*Citrus pseudo limón* Tan), una variedad de limón propia de la india, se estandarizó un proceso para la máxima recuperación de las pectinas, considerando varias variables como: tipos de solventes, relación de cáscara/solvente, tiempo de extracción, número de extracciones y tamaño de las partículas de las cáscaras. Se encontró que el mejor solvente fue HCl 0.1N, con una relación de cáscara a ácido 1:10 por un tiempo de extracción de 60 minutos. Se

precipitó la pectina con alcohol (etanol) y con cloruro de aluminio, dando mejores resultados el etanol. [9].

## 4.2. MARCO TEORICO

### 4.2.1. PECTINA:

Las sustancias pépticas son un grupo complejo de polisacáridos localizados en la lamela media y la pared primaria de las células vegetales. Contribuyen a la llamada textura de las frutas, los vegetales y los productos procesados [10]. La pectina fue definida por Kertesz (1951) como los ácidos pectínicos solubles en agua de grado de metilación variado que son capaces de formar geles con azúcar y ácido bajo condiciones determinadas.

Las pectinas se obtienen de materiales vegetales que tienen un alto contenido de éstas, tales como manzanas, frutas cítricas, piña, guayaba dulce, tomate de árbol, maracuyá y remolacha. Los subproductos de la industria de zumos de frutas, bagazo de manzanas y albedos de cítricos (limón, limón verde, naranja, toronja), constituyen básicamente las fuentes industriales de pectinas. La Tabla 1 muestra el rendimiento promedio de pectina obtenida a partir de éstas. [2]

Tabla 1. Rendimiento de pectina.

<b>Fruto</b>	<b>% Pectina</b>
Cítricos	20 - 35%
Manzana	10 - 15%
Girasol	15 - 25%
Remolacha	10 - 20%
Maracuyá	15 - 20%

### 4.2.2. CLASIFICACION DE LAS SUSTANCIAS PECTICAS

Según cuántos grupos carboxílicos están esterificados en la cadena o polímero [11], se clasifican en:

4.2.2.1. **Protopectinas:** Si todos los carboxilos están esterificados. Éstas son insolubles en agua y se hallan en mayor cantidad en los tejidos de los frutos no maduros o verdes.

4.2.2.2. **Ácidos pectínicos:** Si solo una parte pero mayoritaria de los carboxilos está esterificada. Estos compuestos son capaces de formar geles si las condiciones de sólidos solubles y pH son adecuadas. Las sales de estos ácidos se llaman pectinatos.

**4.2.2.3. Pectinas:** Son los ácidos pectínicos, solubles en agua caliente, con un contenido medio de éster metílico. La principal característica es su capacidad de formar geles en presencia de suficientes sólidos solubles, ácidos o iones polivalentes.

**4.2.2.4. Ácidos pécticos:** Estos compuestos no poseen grupos carboxílicos esterificados. Las sales de estos se denominan pectatos y reaccionan fácilmente con los iones calcio de las células para producir compuestos insolubles en los jugos de frutas, dando un precipitado visible comúnmente en la separación de fases o abanderamiento en los néctares.

### 4.2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ESTRUCTURA DE LA PECTINA

La pectina es un polímero del ácido D-galacturónico con unidades enlazadas por enlaces  $\alpha$  1-4. Las cadenas de pectina están interrumpidas por unidades de L-ramnosa unidas mediante enlaces  $\alpha$  1-2 [10]. También se puede encontrar galactosa, arabinosa, glucosa y xilosa. Por lo menos 3 de estos azúcares neutros se han encontrado en pectinas en forma de cadenas laterales cortas. [12].

Las pectinas de las frutas, y en general de los materiales vegetales, varían en el contenido de metoxilo y poder de gelificación, así como también en la presencia y las posiciones de otros grupos químicos como amidas y etoxilo. El contenido de metoxilo en las pectinas comerciales se encuentra entre el 8 y el 11%, pueden formar geles con un contenido de 65% de sólidos solubles (azúcar). También varían en la longitud de la cadena y los

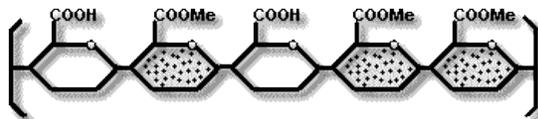
elementos involucrados en su estructura, lo cual compromete su capacidad de fluir. Desde el punto de vista del contenido de metoxilo, o sea del número de grupos carboxilos esterificados con metanol, se distinguen dos tipos, pectinas de alto metoxilo y pectinas de bajo metoxilo. [8]

#### 4.2.3.1. PECTINAS DE ALTO METOXILO (HM)

Son aquellas en las cuales más del 50% de los grupos carboxilos del ácido galacturónico del polímero se encuentra esterificado con metanol como se puede ver en la Figura.1. El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades, en particular, a mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación.Éstas pectinas son capaces de formar geles en condiciones de pH entre 2.8 y 3.5 y un contenido de sólidos solubles (azúcar) entre 60% y 70%.

Las pectinas de alto metoxilo pueden subdividirse en 2 grupos: las de gelificación rápida (Rapidset), o sea menor a 5 minutos y tiene un grado de esterificación con metanol entre el 68 y el 75%. El otro grupo es de gelificación lenta (Slowset) es decir gelifican después de 5 minutos y tienen entre 60 y 68% de esterificación con metanol [13].

Figura 1. Pectinas con alto grado de metoxilo

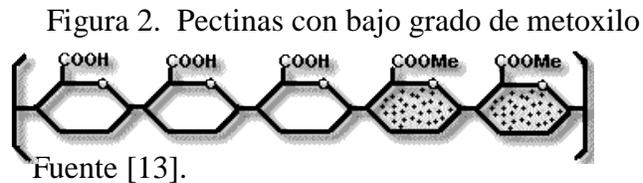


Fuente: [13]

#### 4.2.3.2. PECTINAS DE BAJO METOXILO (LM)

Son aquellas en las cuales menos del 50% de los grupos hidroxilo están esterificados con metanol. Para la formación del gel requieren la presencia de cationes divalente, generalmente se emplea calcio. En éste caso la formación del gel ocurre por la formación de enlaces de dichos cationes con moléculas de pectina, formando una red tridimensional con los grupos carboxilo de ésta [10]. Los geles se pueden obtener entre pH 1 a 7; el pH no

afecta la textura del gel ni el intervalo de sólidos solubles y puede fluctuar entre 0 y 80%, pero la presencia de calcio (40 a 100mg) es el factor predominante en la formación del gel.



#### 4.2.4. PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LA PECTINA

4.2.4.1. **Solubilidad:** El agua es el mejor solvente para las pectinas también es soluble en formamida, dimetilformamida y glicerina caliente [14]. La pectina es insoluble en solventes orgánicos y en soluciones de detergentes cuaternarios, polímeros, proteínas y cationes polivalentes; éstos agentes se emplean para precipitar la pectina de las soluciones después de un proceso de hidrólisis por tratamiento de la materia prima [15]

4.2.4.2. **Acidez:** Las pectinas son neutras en su estado natural, en solución tienen carácter ácido el cual depende del medio y del grado de esterificación. El pH de las soluciones de pectina varía entre 2.8 y 3.4 como función del grado de esterificación. La pectina tiene una constante de disociación de  $0.1$  a  $10 \times 10^{-4}$  a  $19^\circ\text{C}$  [5].

4.2.4.3. **Viscosidad:** Las pectinas forman soluciones viscosas en agua, ésta propiedad depende del grado de polimerización de la pectina, el pH, la temperatura, la concentración y la presencia de electrolitos. En las pectinas con alto grado de esterificación, la viscosidad por efecto de su presencia aumenta al aumentar el peso molecular, los grupos laterales y la concentración de la pectina en solución. El calcio y otros iones polivalentes aumentan la viscosidad de las soluciones de pectinas y algunas pectinas de bajo metoxilo pueden gelificar si la concentración de calcio supera un cierto límite. [5]

4.2.4.4. **Poder de gelificación en geles de pectina:** Para las pectinas con alto metoxilo, se considera que a un pH de 3.4 por lo menos un 40% de los ésteres metílicos están desesterificados y por lo tanto será difícil lograr la formación de un gel estable con presencia de concentraciones de 65% de azúcares. Un exceso en la concentración del

azúcar puede producir cristalización en el almacenamiento. En el caso de las pectinas de bajo metoxilo, los geles son menos rígidos y se pueden trabajar con menos sólidos solubles, no dependen tanto del pH, de hecho se pueden obtener buenos geles entre valores de pH de 2.5 y 6.5, pero requieren calcio en una concentración adecuada que varía entre 0.01 y 0.1% p/p en base húmeda. Una mayor concentración de calcio puede conducir una sinéresis excesiva. Un gel de pectina puede considerarse como un sistema en el cual el polímero está en una forma entre completamente disuelto y precipitado. Segmentos de la cadena molecular están juntos por cristalización limitada para formar una red tridimensional, en la cual el agua, el azúcar y otros solutos se mantienen.

4.2.4.5.       **Longitud de las cadenas:** Determina la consistencia del gel y está por lo tanto íntimamente relacionada con el poder gelificante.

4.2.4.6.       **Peso molecular:** El peso molecular de la pectina, relacionado con la longitud de la cadena, es una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en la gelificación de las jaleas. La determinación cuidadosa del peso molecular es difícil, parcialmente debido a la extrema heterogeneidad de las muestras y a la tendencia de las pectinas a agregarse, aún bajo condiciones no favorables a la gelación. Los pesos moleculares de pectinas y su distribución fueron estudiados sistemáticamente por viscosimetría y determinaron que los pesos moleculares variaban de 20000 a 300000 [16].

4.2.4.7.       **Acción de las bases:** La adición de hidróxido de sodio permite obtener primero las sales ácidas, luego los pectinatos neutros y después ocurre el fenómeno de demetoxilación o sea rompimiento de los ésteres metílicos. Los grupos éster pueden ser separados de la molécula aun a baja temperatura, sin depolimerización.

4.2.4.8.       **Acción de los ácidos:** Solubilizan la protopectina, por esta razón se emplea medio ácido controlado en los procesos de extracción de la pectina; aceleran la separación de los metoxilos, si su efecto se continúa se afectan los enlaces glicosídicos 1 – 4 y se

pueden romper, y a un pH fuertemente ácido, temperaturas altas y tiempos largos, se presenta la decarboxilación con formación de CO<sub>2</sub> y furfural [17]. A bajas temperaturas predomina la saponificación y altas temperaturas la depolimerización[18].

4.2.4.9. **Acción de las enzimas:** Sobre las pectinas pueden actuar la pectinmetilesterasa (PME) y la poligaractunosa (PG). La primera ataca a los grupos carboxilo esterificados con metanol liberando los grupos ácidos y el metanol, y la PG ataca las uniones de las unidades de ácido galacturónicos disminuyendo el peso molecular, cambiando así todas las propiedades que dependen de éstas características. Las enzimas pectinolíticas son producidas por hongos y bacterias, para fabricar industrialmente pectinas con características especiales. Se han desarrollado enzimas que son capaces de degradar las conchas de las diferentes frutas para la separación de la pectina, entre éstas está la endopoligalacturonasa producida por el hongo *Aspergillus niger* que degrada con alta eficiencia las cáscaras, logrando liberar un alto porcentaje de material péctico [19].

#### 4.2.5. EXTRACCION ENCIMATICA DE PECTINA

Para el proceso de extracción enzimática se utilizan las siguientes endopolisacaridasas: endo-poligalacturonasa (*Aspergillus niger*), endo-celulasa (*Trichoderma sp.*) y endoarabinasa (*A. niger*). La degradación enzimática de cáscaras de frutas se realiza bajo las siguientes condiciones:

Se ponen 80 ml de amortiguador ácido cítrico-citrato de sodio 50 mM, pH 4.5 en un reactor enchaquetado de mezclado ideal a 40°C. Luego se agregan 5  $\mu$ l de enzima altamente purificada y posteriormente se agregan 2 g de cascara. La reacción se debe mantener bajo agitación constante durante 12 h. Al término de la reacción la suspensión se filtra a través de tela muselina. La cascara despectinzada es lavada con agua y deshidratada con solventes orgánicos. La pectina contenida en jugo pectico se precipitada con dos volúmenes de etanol y separado por filtración. [19]

#### 4.2.6. APLICACIONES DE LA PECTINA

- La pectina de alto metoxilo preserva a los productos lácteos de la agregación de caseína cuando se calienta a valores de pH inferiores a 4.3. Este efecto se usa para estabilizar los yogurts líquidos y tratados con UHT y también para mezclas de leche y zumos de fruta. También estabiliza bebidas lácteas acidificadas con soja y productos basados en el trigo, donde evita la precipitación de proteínas.[20]
- Las bebidas de bajas calorías son muy claras (de textura) y tienen la falta característica de sensibilidad a la boca que proporciona el azúcar en los refrescos convencionales. Puede usarse pectina para mejorar la textura de tales productos y, así, reemplazar a la pulpa del fruto en tales productos.[20]
- En los sorbetes, helados y polos, la pectina puede usarse para controlar el tamaño del cristal. En los polos retiene los aromas y colores, que normalmente tienden a salir de la estructura del hielo.[20]
- La gelatina ha sido la base tradicional para los postres de jaleas. Se formulan con pectinas amidadas de bajo metoxilo que proporciona la textura y el punto de congelación adecuados.[20]
- La acción antidiarréica es la propiedad más universalmente conocida, incluso antes de descubrirse la molécula de pectina. Este efecto se acompaña frecuentemente de una acción antivomitiva, permitiendo a los niños de corta edad asimilar y tolerar mejor los alimentos, en particular leches y productos lácteos, y es, sin duda, consecuencia del papel de protector y regulador del sistema gastrointestinal [21]
- Las pectinas de alto metoxilo asociadas a otros principios activos, tienen una gran utilización en los tratamientos de gastritis y úlceras, ya que al ser ingerida cubre las paredes estomacales de una especie de película más o menos gelificada, y la protege de hipersecreciones gástricas y biliares. Su acción en la pared intestinal es análoga; además, se añade una acción desintoxicante, debido al poder adsorbente de la macromolécula péctica, que permite la inhibición de toxinas [22].

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN:**

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se realizó una investigación cuantitativa de tipo experimental, ya que, se manipularan las variables independientes (Temperatura y pH), para analizar el comportamiento del producto y el cambio que ocasionan a las variables dependientes del proceso (rendimiento, contenido de Metoxilo y grado de esterificación), y así definir a partir de los resultados, las mejores condiciones de obtención de pectina.

### **5.2. TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

**5.2.1. Fuente primaria:** Para la recolección de información en el proyecto, se usó la técnica de observación, la cual nos permite reconocer de manera clara el problema de los residuos de la industria del plátano (cáscaras), para dar una solución óptima que genere beneficios económicos a través del tratamiento de éstas para la producción de pectinas.

**5.2.2. Fuentes secundarias:** Se obtuvo información a partir de fuentes secundarias externas a través de artículos encontrados en bases de datos (UNIVERSIA, SCIENCE DIRECT, entre otras), y tesis publicadas en diferentes bibliotecas del país, que contienen información relacionada con el tema de interés y nos dan un amplio conocimiento de cómo podrían comportarse las variables dependientes al tener una manipulación controlada de las variables independientes.

### **5.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **POBLACIÓN**

Respecto a las cáscaras de plátano verde tipo Hartón, se tomaron en total 20 kg como población.

## MUESTRA

La muestra correspondiente a las cascara de plátano libres de suciedad y completamente secas es de 50 gr, de acuerdo al rendimiento esperado que es aproximadamente del 20%.

### 5.4. VARIABLES

En las Tablas 2, 3 y 4 se exponen las variables a analizar y/o medir,

#### OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES

##### VARIABLES DEPENDIENTES

Tabla 2. Variables Dependientes

VARIABLE	CLASE	DIMENSION	INDICADOR
Rendimiento	Dependientes	Porcentaje	%
Contenido de Metoxilo	Dependientes	Porcentaje	%
Grado de Esterificación	Dependientes	Porcentaje	%

Fuente: Autores

##### VARIABLES INDEPENDIENTES

Tabla 3. Variables Independientes

VARIABLE	CLASE	DIMENSION	INDICADOR
Temperatura	Independiente	Temperatura	°C
pH	Independiente	Concentración	H <sup>+</sup>

Fuente: Autores

##### VARIABLE INTERVINIENTE

Tabla 4. Variable Interviniente

VARIABLE	CLASE	DIMENSION	INDICADOR
Tiempo	Constante	Tiempo	Min

Fuente: Autores

## 5.5. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para el diseño de experimentos se evaluaron de manera conceptual, cuales eran las propiedades que nos indicarían la calidad tales como el porcentaje de humedad, contenido de Metoxilo, el Grado de esterificación. También los factores que nos garantizarían una óptima extracción, como el pH y la Temperatura. Por eso para combinar los factores experimentales y sus respuestas, se usó el software Statgraphics, el cual de manera exacta nos entregó el número de experimentos teniendo en cuenta que solo se trabajó con una réplica.

Clase de diseño: Multi-factor Categórico

### Diseño Base

Número de factores experimentales: 2

Número de respuestas: 3

Número de corridas: 12

Grados de libertad para el error: 8

Tabla 5. Factores del diseño de experimentos

<i>Factores</i>	<i>Niveles</i>	<i>Unidades</i>
pH	2	H+
Temperatura	2	°C

Fuente: Autores

Tabla 6. Respuestas del Diseño de Experimentos

Respuestas	Unidades
Humedad	%
Contenido de Metoxilo	%
Grado de Esterificación	%

Fuente: Autores

El diseño es factorial estándar que consiste en todas las combinaciones de los niveles de los factores. Hay un total de 12 corridas en el diseño.

## DISEÑO DE EXPERIMENTO

Figura 3. Diseño de Experimentos, Statgraphics

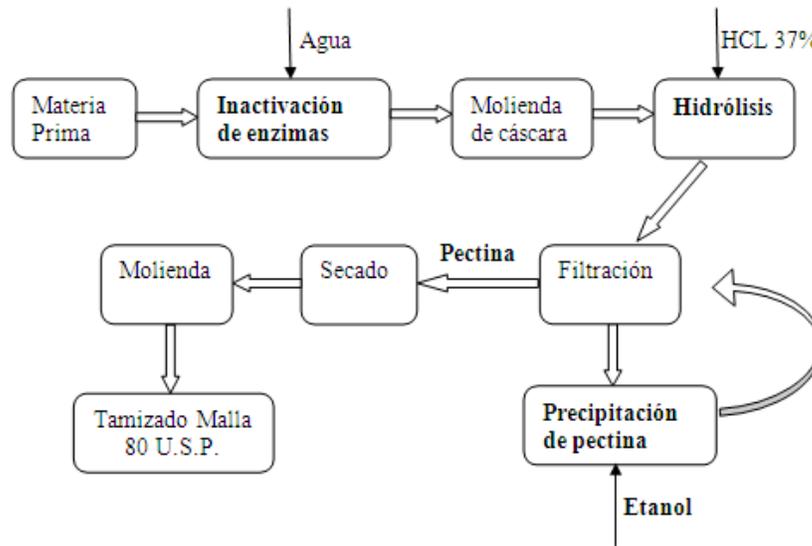
	BLOQUE	pH	TEMPERATURA	HUMEDAD	CONTENIDO DE METOXILO	GRADO DE ESTERIFICACIÓN
		H+	°C	%	%	%
1	1	3	60°C			
2	1	3	60°C			
3	1	1.5	60°C			
4	1	1.5	80°C			
5	1	3	80°C			
6	1	3	80°C			
7	1	1.5	80°C			
8	1	3	80°C			
9	1	3	60°C			
10	1	1.5	80°C			
11	1	1.5	60°C			
12	1	1.5	60°C			

Fuente: Software Statgraphics

### 5.6. PROCEDIMIENTO GENERAL

El procedimiento general para la obtención de pectina a escala de laboratorio de diferentes materias primas no cambia, en su esencia es el mismo para todas, los procesos principales son la inactivación de enzimas pécticas en las cáscaras, hidrólisis ácida y precipitación de la pectina. En el Figura 4 se muestra el proceso general para la obtención de pectina.

Figura 4. Diagrama de flujo de extracción de pectina propuesto por los Autores.



Fuente: Autores

### 5.6.1. INACTIVACIÓN DE ENZIMAS PÉCTICAS

Con el propósito de hacer más eficiente el proceso de extracción es necesario inactivar las enzimas pécticas, manteniendo la materia prima en agua, con concentraciones cercanas a 300 gramos por litro y calentando hasta ebullición, lo cual contribuye a eliminar suciedades o micro-organismos presentes en la cáscara. Se decanta el agua y la materia prima queda lista para la hidrólisis. [2]

### 5.6.2. HIDRÓLISIS ÁCIDA

Al material sólido se le agrega la misma cantidad de agua usada inicialmente y a esta solución se le agrega ácido sulfúrico, ácido nítrico o, preferiblemente, ácido clorhídrico hasta obtener un pH entre 1.5 y 3. Cuando se usa ácido clorhídrico del 37%, se calcula que se deben usar de 6 a 8 ml de ácido por cada litro de la solución, para alcanzar el pH indicado [9]. El tiempo de calentamiento de la solución es de 40 a 60 minutos manteniendo la temperatura en el valor deseado (60°C – 80°C); la agitación permanente debe mantenerse para evitar que el material sólido se deposite en el fondo del tanque de hidrólisis.

### 5.6.3. PRECIPITACIÓN

En la etapa de precipitación de las pectinas se pueden emplear sales o alcoholes. Se prefieren estos últimos porque al usar las pectinas en la industria de alimentos se evitan residuos, mientras que con las sales es necesario un lavado muy cuidadoso para retirar todo residuo. En la precipitación de las pectinas se recomienda un volumen de alcohol equivalente al 80% de la solución que se va a precipitar. Sin embargo, en ensayos de laboratorio se encontró que disminuyendo el volumen de alcohol a un equivalente el 60% del volumen de la solución no se disminuye el rendimiento de una manera notable y si disminuyen los costos sustancialmente [2]. Para esta etapa del proceso se empleara etanol al 95% o 96%.

#### 5.6.4 ESQUEMATIZACION DEL PROCESO A EMPLEAR

En la tabla 7, se presenta la metodología utilizada para el proceso de extracción de Pectina a partir de cascaras de plátano las figuras se pueden ver en el Anexo B.

Tabla 7. Esquematización del proceso

PROCESO	PROCEDIMIENTO
<b>RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA</b>	Se recogen muestras de cascaras de plátano en diversos establecimientos de producción de patacones y demás subproductos, un total de 20kg aproximadamente.
<b>PELADO</b>	Se remueven los excesos de pulpa presentes en la cascara para evitar residuos en el producto final.
<b>INACTIVACION DE ENZIMAS</b>	Se desactivan las enzimas pécticas presentes en la cascara calentando hasta ebullición durante 15 min. Esto evita que la muestra se madurara mientras se realizan los diferentes ensayos experimentales para obtener la pectina.
<b>HIDROLISIS</b>	Se realiza en una estufa con baño de maría y control automático de temperatura a los diferentes pHs planteados y con agitación manual durante 60 minutos.

<b>PRECIPITACIÓN</b>	Se usa un volumen del 60% de etanol con respecto a la solución obtenida en el proceso de hidrólisis para lograr el precipitado de la pectina.
<b>FILTRACION</b>	El proceso de filtrado a nivel de laboratorio es muy lento, por tanto se usa una centrifuga para acelerar el proceso.
<b>SECADO Y TRITURACIÓN</b>	La pectina húmeda se seca en horno a 40 °C, durante 12 horas. La masa solida resultante se tritura mediante un mortero.

Fuente: Autores

## **5.7. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Los datos obtenidos en el laboratorio se analizan para establecer el impacto de las variables manipuladas en la calidad del producto deseado. Conjuntamente se efectúan espectroscopias infrarrojas para determinar en primera instancia que el producto obtenido sea pectina y el análisis de grupos esteres presentes de acuerdo al porcentaje de transmicidad (%T) y del mismo modo definir si la pectina obtenida es de acción rápida (rapidset) o acción lenta (slowset). Simultáneamente se caracterizará la pectina para determinar su calidad y si esta cumple con los parámetros internacionales:

### **5.7.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Se coloca una cantidad 1,0 gramo de pectina en un pesa sustancias perfectamente limpio y seco. Secar a 60 °C durante 24 horas o hasta peso constante. Retirar el recipiente y enfriar en un desecador con cloruro de calcio con indicador de humedad. Pesar y determinar el porcentaje de humedad, relacionando la pérdida de peso con relación a la sustancia húmeda. La humedad se expresa en p/p o sea como gramos de humedad en 100 gramos de pectina. [5]. La humedad de la pectina es un factor que incide directamente en la estabilidad de la pectina porque por sus características químicas permite el crecimiento de microorganismos, especialmente hongos. Una pectina muy húmeda es difícil de pulverizar, se adhiere a las superficies y tienen menor estabilidad y tiempo de vida útil. Una pectina muy seca puede ser resistente a la molienda y presentar un color más oscuro. [8]

### **5.7.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS**

Pesar una cantidad exactamente conocida cercana a 1.0 gr de pectina colocarla en un crisol de porcelana previamente preparado. Calentar suavemente con mechero y en cabina hasta fin de desprendimiento de humos. Colocar el crisol en la mufla a 600°C durante 4 horas. Retirar el crisol de la mufla, dejarlo enfriar ligeramente y luego colocarlo en un desecador con cloruro de calcio como agente para controlar la humedad. Completar ahí el enfriamiento y luego pesar. Expresar el contenido de cenizas totales en términos de p/p en base húmeda, es decir, gramos de cenizas totales en 100 gramos de pectina. [5]

$$\% \text{ Cenizas Base Seca} = \frac{\text{Peso de Cenizas}}{\text{Peso Muestra}} \times 100$$

### **5.7.3. DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE Y DE ACIDEZ LIBRE**

Para la determinación del peso equivalente por titulación y de la acidez libre se empleó la técnica de Owens [23], la cual consiste en pesar en un vidrio de reloj pequeño 500mg de sustancia péctica, trasladar cuantitativamente a un erlenmeyer de 250ml, con la ayuda de unos 5ml o la cantidad mínima necesaria de alcohol de 95-96% para humedecerla, agregar 100ml de agua recientemente destilada y fría.

### **5.7.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE METOXILO**

A la solución empleada para la determinación del peso equivalente agregar 25ml de hidróxido de sodio a 0.1N, agitar perfectamente, tapar el erlenmeyer y dejar en reposo por 30 minutos a la temperatura ambiente. Agregar luego 25ml de la disolución de ácido clorhídrico 0.25N o la cantidad equivalente de ácido para neutralizar la soda adicionada. Agitar perfectamente y titular con solución de hidróxido de sodio 0.1N, tomando como punto final de la titulación pH 7.5 o color rojizo permanente por 20 segundos. Se usa la siguiente fórmula [5]:

$$\% \text{Metoxilo} = \frac{\text{meq. de NaOH} * \text{PM del metoxilo} * 100}{\text{peso de la muestra en mg}}$$

### **5.7.5. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE ESTERIFICACIÓN**

El porcentaje de esterificación se calcula dividiendo los miliequivalentes del hidróxido de sodio gastados en la determinación del contenido de metoxilo por la suma de los miliequivalentes de hidróxido de sodio gastados en la determinación de la acidez libre y los gastados en la determinación del contenido de metoxilo y multiplicando este valor por 100 [5].

$$\%Esterificación = \frac{meq. de NaOH(cont. de metoxilo)}{meq. de NaOH(acidez libre) + meq. de NaOH(cont de metoxilo)} * 100\%$$

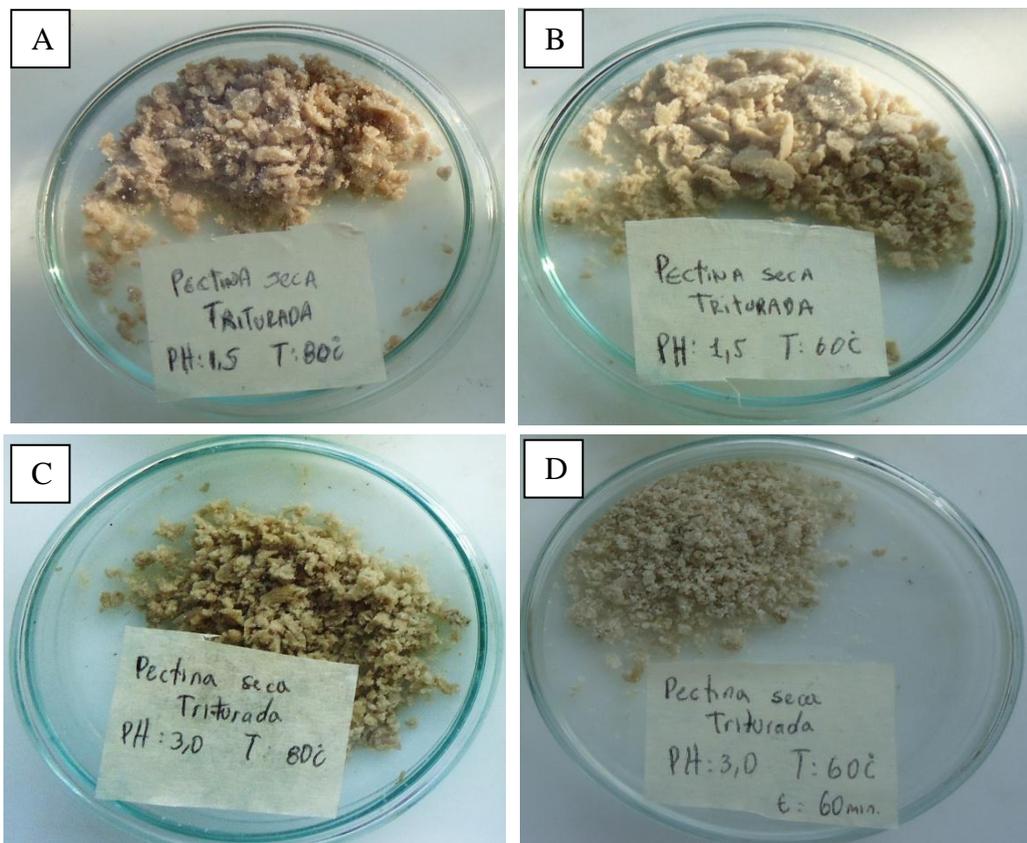
## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. ANALISIS EXPERIMENTAL Y CARACTERIZACION

#### 6.1.1. MUESTRAS DE PECTINA A DIFERENTES CONDICIONES DE EXTRACCION

En la siguiente figura se muestran los ensayos mas significativos del proceso de obtención de pectina a partir de las cascaras de plátano.

Figura 5: Muestras de pectina a diferentes condiciones de extracción



Fuente: Autores

Muestra A: Pectina extraída a 80°C, pH 1.5; se observa que es la muestra mas oscura debido a que a mayor temperatura es mayor la degradación térmica y además por las condiciones de secado por convección. [26]

Muestra B: Pectina extraída a 60°C, pH 1.5; presenta una coloración café claro lo cual es aceptable para una pectina comercial.

Muestra C: Pectina extraída a 80°C, pH 3.0; presenta una coloración café claro lo cual es aceptable para una pectina comercial.

Muestra D: Pectina extraída a 60°C, pH 3.0; se observa que es la pectina mas clara lo que indica a simple vista que es de mejor calidad.

Es notable resaltar que las condiciones de pH y temperatura de extracción afectan a la coloración de la pectina. A mayor pH y mayor temperatura se obtienen pectinas más oscuras siendo la temperatura el mas significativo de ellos.

### 6.1.2. RENDIMIENTO

La pectina se extrajo a las temperaturas de 60° y 80° C. A cada temperatura se han efectuado extracciones a pH: 1,5 y 3,0. Todos los experimentos se realizaron a tiempo constante (60min), tiempo en el que se obtiene mayor rendimiento según los análisis realizados en otras investigaciones [20]. En total se han obtenido 12 experimentos. Los valores de rendimiento de las muestras se exponen en la Tabla 8.

Tabla 8. Rendimientos obtenidos y condiciones de extracción de pectina a partir de cascara de plátano

Parámetros (T, pH, t)	Muestra N°	Material (g)	Pectina seca (g)	Rendimiento (% p/p)
T= 80°C pH: 3.0 t: 60 min	1	50	6.15	12.3
	2	50	5.54	11.08
	3	50	6.25	12.5
T= 80°C pH: 1.5 t: 60 min	4	50	9.30	18.6
	5	50	9.61	19.22
	6	50	11.53	23,06
T= 60°C pH: 3.0 t: 60 min	7	50	4.18	8.36
	8	50	3.76	7.53
	9	50	4.01	8.02
T= 60°C pH: 1.5 t: 60 min	10	50	8.71	17.42
	11	50	9.43	18.86
	12	50	7.88	15.77

Fuente: Autores

- A tiempos de extracción constantes, la disminución del pH y el aumento de temperatura producen un incremento del rendimiento de la pectina extraída, ya que se incrementa la hidrólisis de los enlaces de la protopectina, que pasa a pectina soluble.
- El rendimiento de la pectina varía entre 7.53% y 23.06%, lo que indica que hay altos contenidos de pectina en la cascara de plátano comparado con pectinas comerciales de cítricos con rendimientos cercanos al 10%.
- El máximo porcentaje de pectina extraída corresponde a la muestra 6 obtenida a 80°C, pH 1,5 y tiempo de 60 minutos y el mínimo corresponde a la muestra 8 a 60°C, pH 3.0 y tiempo de 60 minutos

### 6.1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad de la pectina extraída se muestra en la Tabla 9 y nos permite denotar las siguientes conclusiones:

Tabla 9. Contenido de humedad

Parámetros (T, pH, t)	Muestra N°	Peso de la muestra (g)	Peso de la muestra sometida a secado	humedad presente	Contenido de humedad (%)
T= 80°C pH: 3.0 t: 60 min	1	1	0,95	0,05	5%
	2	1	0,96	0,04	4%
	3	1	0,93	0,07	7%
T= 80°C pH: 1.5 t: 60 min	4	1	0,91	0,09	9%
	5	1	0,88	0,12	12%
	6	1	0,89	0,11	11%
T= 60°C pH: 3.0 t: 60 min	7	1	0,93	0,07	7%
	8	1	0,99	0,01	1%
	9	1	0,98	0,02	2%
T= 60°C pH: 1.5 t: 60 min	10	1	0,94	0,06	6%
	11	1	0,92	0,08	8%
	12	1	0,9	0,1	10%

Fuente: Autores

- El contenido de humedad es muy variable, entre 1% y 12% esto tiene una relación directa con el método de secado (estufa con circulación de aire caliente a 40°C).
- La mayoría de las muestras quedaron con menos del 10% p/p de humedad, valor que se considera como máximo aceptable, solo dos muestras no cumplieron con el requisitos [24]. Esto debido a que el análisis se realizo por etapas; la mayoría de los análisis se hicieron en 2 etapas de 12 horas. Hubo 2 análisis que se realizaron en 4 etapas de 6 seis horas (muestra 5 y muestra 6) lo que posibilito que la muestra se humedeciera nuevamente antes de cumplir las 24 horas de secado.
- Todas las muestras fueron sometidas a las mismas condiciones de temperatura y tiempo. La muestra que presentó un mejor valor en el contenido de humedad fue la N° 11. Esto debido a que esta muestra tuvo mejores condiciones de prensado final y de secado en la estufa. Este resultado de humedad contribuye a que esta pectina tenga mayor estabilidad, tiempo de vida útil y menos posibilidades de permitir el crecimiento de microorganismos.

#### **6.1.4. CONTENIDO DE CENIZAS**

Se tomo una muestra de pectina de peso aproximado 10 g, la sometimos al calor hasta el desprendimiento de humos, luego lo llevamos a una mufla, cerca de 9 horas, a una temperatura de 550-600°C. Luego enfriamos en el desecador y pesamos, repetimos el proceso hasta peso constante y la aparición de las cenizas de color gris claro.

En la figura 6 se muestran los crisoles sometidos al calor hasta el desprendimiento de humos y dentro de la mufla.

Figura 6. Crisoles sometidos al calor (desprendimiento de humos).



Fuente: Autores

Figura 7. Crisoles dentro de la mufla para calcinación.



Fuente: Autores

Los valores correspondientes a contenido de cenizas totales pueden observarse en la Tabla 10.

Tabla 10. Contenido de cenizas

Parámetros (T, pH, t)	Muestra N°	Peso de la muestra (g)	Peso de ceniza (g)	Contenido de ceniza (%)
T= 80°C pH: 3.0 t: 60 min	1	10	0,11	1,1
	2	10	0,23	2,3
	3	10	0,14	1,4
T= 80°C pH: 1.5 t: 60 min	4	10	0,15	1,5
	5	10	0,12	1,2
	6	10	0,26	2,6
T= 60°C pH: 3.0 t: 60 min	7	10	0,26	2,6
	8	10	0,18	1,8
	9	10	0,09	0,9
T= 60°C pH: 1.5 t: 60 min	10	10	0,35	3,5
	11	10	0,13	1,3
	12	10	0,12	1,2

Fuente: Autores

- Los datos oscilaron entre (0,9 – 3,5) %, esto debido a que no se realizaron todos los experimentos con una muestra de cascaras de plátano uniforme y con las mismas condiciones, se fue recolectado muestras a medida que se iban realizando los experimentos, por tanto las fluctuaciones se originan a raíz de todo este incidente, además de que las cascaras se encontraban sucias de resto de grasas que colaborarían a la fluctuación de los datos.

- El contenido de cenizas mas alto fue en la muestra 7, tuvo un valor de 3,5%, esto pudo deberse a que las cascaras utilizadas en esta esta muestras tenían gran cantidad de minerales diferentes a los que contiene el plátano en su estado normal.

- Los datos del contenido de cenizas (0,9 – 3,5) % son superiores a los de R. Vasquez quien también extrajo pectina de plátano en Venezuela en el 2008, los cuales fluctuaron entre (0,81 – 0,74) %. Pero estos valores son inferiores a los arrojados por la pectina comercial MERCK (3,99%).

- El contenido de cenizas nos la cantidad de solidos solubles demuestra las debilidades del proceso de selección de las muestras, por eso se presentan de contenidos de cenizas altos y bajos. Pero se mantienen dentro de los niveles aceptables teniendo en cuenta la pectina comercial MERCK (3,99%).

- Las cenizas nos muestran el conjunto de minerales que se encuentran en la pectina, teniendo en cuenta la fluctuación valores del contenido de cenizas, nuestra pectina es competitiva, puesto que contiene pocos solidos e impurezas y puede ser utilizada en una amplia gama de procesos.

#### 6.2.5 PESO EQUIVALENTE Y ACIDEZ LIBRE

Para la determinación del peso equivalente y acidez libre por titulación se empleo la técnica de Owens (23). La Figura 8 es la muestra inicial de pectina, mezclada con alcohol, agua destilada, cloruro de sodio y rojo de fenol como indicador. Se observa el color amarillo.

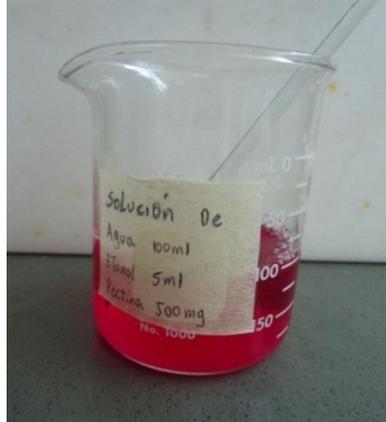
Figura 8. Solución de Pectina, para uso de técnica de Owens.



Fuente: Autores

Aplicando la técnica de Owens (23), queda una solución de color rojizo, la cual es el resultado de la titulación. En la figura 9 se observa el viraje.

Figura 9. Solución de pectina, luego de la titulación (técnica de Owens)



Fuente: Autores

Los valores correspondientes al peso equivalente y la acidez libre pueden observarse en la siguiente Tabla 11.

Tabla 11. Resultados Peso Equivalente y Acidez Libre

Muestra	Peso Equivalente (mg/meq)	Acidez Libre (meq Carboxilos Libres/g)
1	505,05	1,74
2	450,45	1,78
3	495,04	1,48
4	526,31	1,9
5	531,91	1,88
6	549,45	1,82
7	649,35	1,54
8	581,39	1,72
9	561,79	1,78
10	543,47	1,84
11	531,91	1,88
12	510,20	1,96

Fuente: Autores

De los datos anteriores se puede concluir que:

- Se observó que los pesos equivalentes oscilaron entre 510 y 675 mg/meq, lo que demuestra que se encontraron en un rango apropiado [27]. Mientras que la acidez libre fluctuó entre 1,74 y 1,96 meq Carboxilo/g.

- El estado de maduración y condiciones físicas de las cascarras de plátano usadas para la extracción de Pectina, no afecto de manera significativa el valor de los pesos equivalentes y acidez libre.

- Los mayores valores de peso equivalente lo presentan las muestras obtenidas con hidrólisis a pH 1,5 y este valor va disminuyendo a medida que el pH de extracción de torna mas básico, debido a que las pectinas obtenidas a pH mas alcalino necesitaron menos soda en la determinación y eso se traduce al aplicar la formula para el calculo correspondiente,

$$Peso\ eq = \frac{peso\ de\ la\ muestra\ en\ mg}{meq.de\ NaOH}$$

- La acidez libre aumentó a medida que el pH de extracción se torno mas acido y esto puede deberse al cambio de la naturaleza química de los grupos carboxilo, disminuyendo su estado de forma de sales o esteres y aumentando su presencia como grupos ácidos.

Existe una relación directa entre la acidez libre y el pH de extracción, teniendo en cuenta que los mayores niveles de acidez se presentaron, cuando el medio de extracción presenta condiciones extremas de acidez. El peso equivalente disminuyo a medida que el pH de extracción de las pectinas se hizo menos acido y las condiciones de extracción fueron menos drásticas, esto indica que en medios ácidos hay mayores posibilidades de presentarse reacciones hidroliticas del poligalacturonano que cuando la extracción se hace en medios un poco mas alcalinos.

#### **6.2.6 CONTENIDO DE METOXILO Y GRADO DE ESTERIFICACION**

La solución empleada para la determinación del peso equivalente se le agrega aproximadamente 25 ml de hidróxido de sodio a 0.1N, y se agita perfectamente, se deja reposar por 30 minutos a la temperatura ambiente. Luego se agrega, 25 ml de la disolución de acido clorhídrico 0.25N o la cantidad equivalente de acido para neutralizar la soda adicionada, para volver a la solución de color amarillo. Se Agita y se lleva a cabo la titulación con solución de hidróxido de sodio 0.1N.

Figura 10. Solución inicial para determinación de Contenido de Metoxilo



Fuente: Autores

Figura 11. Solución Titulada con Soda, para el Contenido de Metoxilo.



Fuente: Autores

Los valores correspondientes al contenido de metoxilo y grado de esterificación pueden observarse en la Tabla 12.

Tabla 12. Resultados Contenido de Metoxilo y Grado de Esterificación

Muestras	Contenido de Metoxilo (%)	Grado de Esterificación (%)
1	1,798	86,23
2	2,232	89,33
3	2,79	92,46
4	5,518	76,54
5	6,634	83,18
6	6,564	82,66
7	2,926	95,26
8	3,837	94,31
9	4,600	95,50
10	5,518	86,49
11	6,882	87,88
12	6,014	92,67

Fuente: Autores

De los datos se puede concluir:

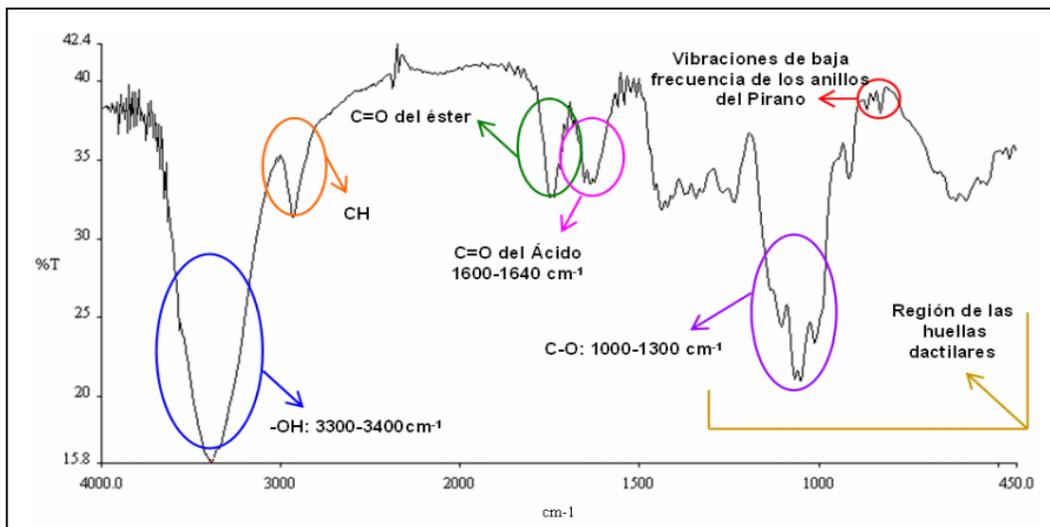
- Todas las pectinas extraídas de las cascaras de plátano, tienen menos del 7% de Metoxilo, por esta razón son de bajo Metoxilo, aunque algunas están muy cerca al límite y podrían comportarse como de alto Metoxilo
- Todas las muestras presentan un alto grado de esterificación, la relación entre el contenido de Metoxilo y grado de esterificación sugiere la presencia de otros grupos formando complejos con los grupos carboxilos del ácido poligalacturónico, de las pectinas obtenidas por medio de estos procesos tecnológicos.
- El grado de esterificación oscila entre 95,50% y 76,54% y esto hace que se considere como una pectina de alto grado de esterificación, aunque si se tiene en cuenta el contenido de Metoxilo, seguramente la esterificación del grupo carboxilo del polímero es con grupos diferentes al Metoxilo, probablemente con etoxilo o que el grupo acido esta formado otro grupo de compuestos como los de tipo amida.

### **6.2.7 ANALISIS ESPECTRO INFRARROJO**

El procedimiento para la obtención del espectro de infrarrojo de la pectina obtenida en laboratorio a pH 1,5 y temperatura de 60°C , se realizó con la colaboración del departamento de laboratorio de Propilco.S.A. Se comenzó mezclando la muestra de pectina pulverizada con KBr en un molde para formar unas pastillas translúcidas, que luego se colocaron en el espectrofotómetro marca Nicolet, de referencia 6700 FT-IR (Espectrometría de infrarrojo por transformada de Fourier), donde se realizaron 128 escaneos entre 4000 y 500cm<sup>-1</sup> de longitud de onda y una resolución de 4cm<sup>-1</sup>.

En la Figura 12 se presenta el espectro infrarrojo de la pectina estándar de gelificación rápida, donde se pueden observar las diferentes longitudes de onda correspondientes a los diferentes grupos funcionales característicos de una pectina comercial.

Figura 12. Espectro infrarrojo de la pectina estándar rapid set.

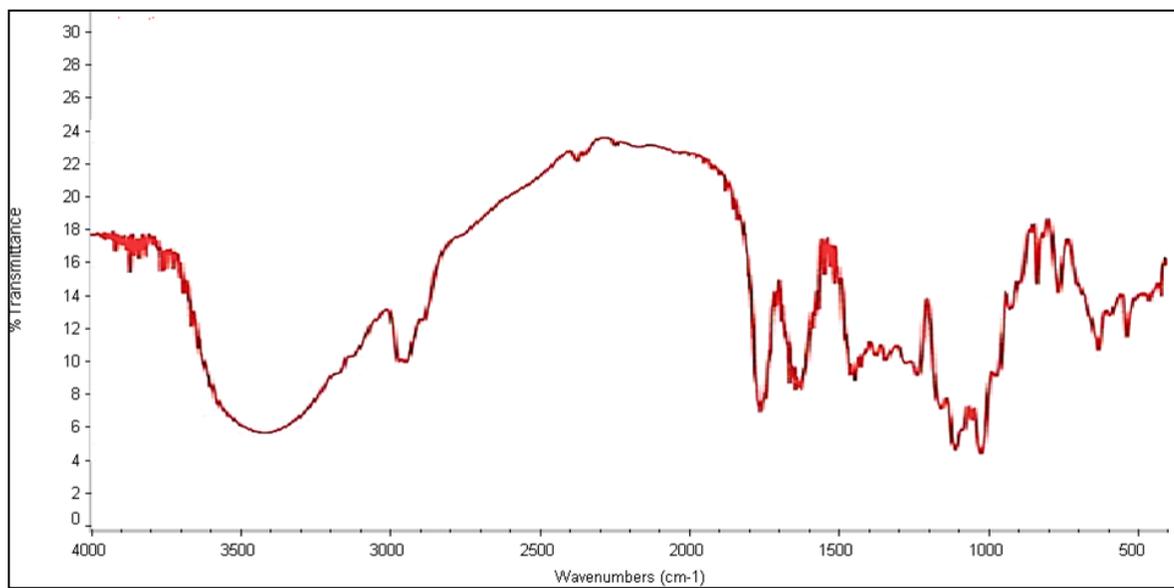


Fuente: [26]

El espectro infrarrojo de la pectina obtenida en laboratorio a un pH de 1,5 y temperatura de 60°C que se muestra en la Figura 13, evidencia claramente la presencia de los grupos funcionales característicos de una pectina comercial; entre los 3300 - 3500 $\text{cm}^{-1}$  se encuentra la banda correspondiente a los grupos -OH, entre los 2900 - 3000 $\text{cm}^{-1}$  el grupo CH, entre los 1700 - 1800 $\text{cm}^{-1}$  el grupo C=O de los ésteres, entre los 1500-1700 $\text{cm}^{-1}$  el grupo C=O de los ácido, entre los 1000-1200 $\text{cm}^{-1}$  el grupo C-O y entre los 700 y 900 $\text{cm}^{-1}$  los anillos benzoicos.

La pectina extraída se clasifica como rapid set o de gelificación rápida, debido a que la transmitancia del ácido (8%) es mayor que la transmitancia del éster (7%),  $\%T_a > \%T_e$  [26]. Esto se traduce gráficamente en un alargamiento mayor de la banda correspondiente al grupo C=O del éster con respecto a la banda correspondiente al grupo C=O del ácido.

Figura 13. Espectro I.R de la pectina extraída de la cáscara de plátano a pH 1,5 y temperatura de 60°C.



Fuente: Autores.

## 7. DISEÑO GENERAL DEL PROCESO

### 7.1. GENERALIDADES

El diseño del diagrama del proceso de extracción surge de los diferentes equipos que se usaron en los laboratorios y de las revisiones en diferentes investigaciones acerca del procesamiento y extracción de la pectina. En la Tabla 13 se muestra los diferentes procesos realizados en laboratorio y los equipos seleccionados para el proceso industrial según los resultados obtenidos.

Tabla 13. Equipos seleccionados para el proceso industrial según los datos obtenidos en laboratorio

PROCESO	LABORATORIO	INDUSTRIA
Lavado de materia prima	El lavado se realizó de forma manual removiendo el exceso de pulpa y la suciedad presente en la cascara.	Una serie de trabajadores se encargara de remover la pulpa colocando las cascara en agua tibia para ablandar la pulpa sobrante y de esta forma facilitar el proceso de limpieza.
Inactivación de Enzimas	Este proceso se realizó en un beaker de un litro calentando el material en estufas eléctricas hasta ebullición, durante 15 minutos	Se eligió un tanque abierto que se calienta a través de una chaqueta con flujo de vapor y se adiciono un agitador para acelerar el proceso de calentamiento, este ultimo serviría para el proceso de hidrolisis ya que también requiere de agitación constante.
	El proceso de hidrolisis se realizo en un balón	Se ha escogido el mismo tanque abierto con chaqueta del proceso

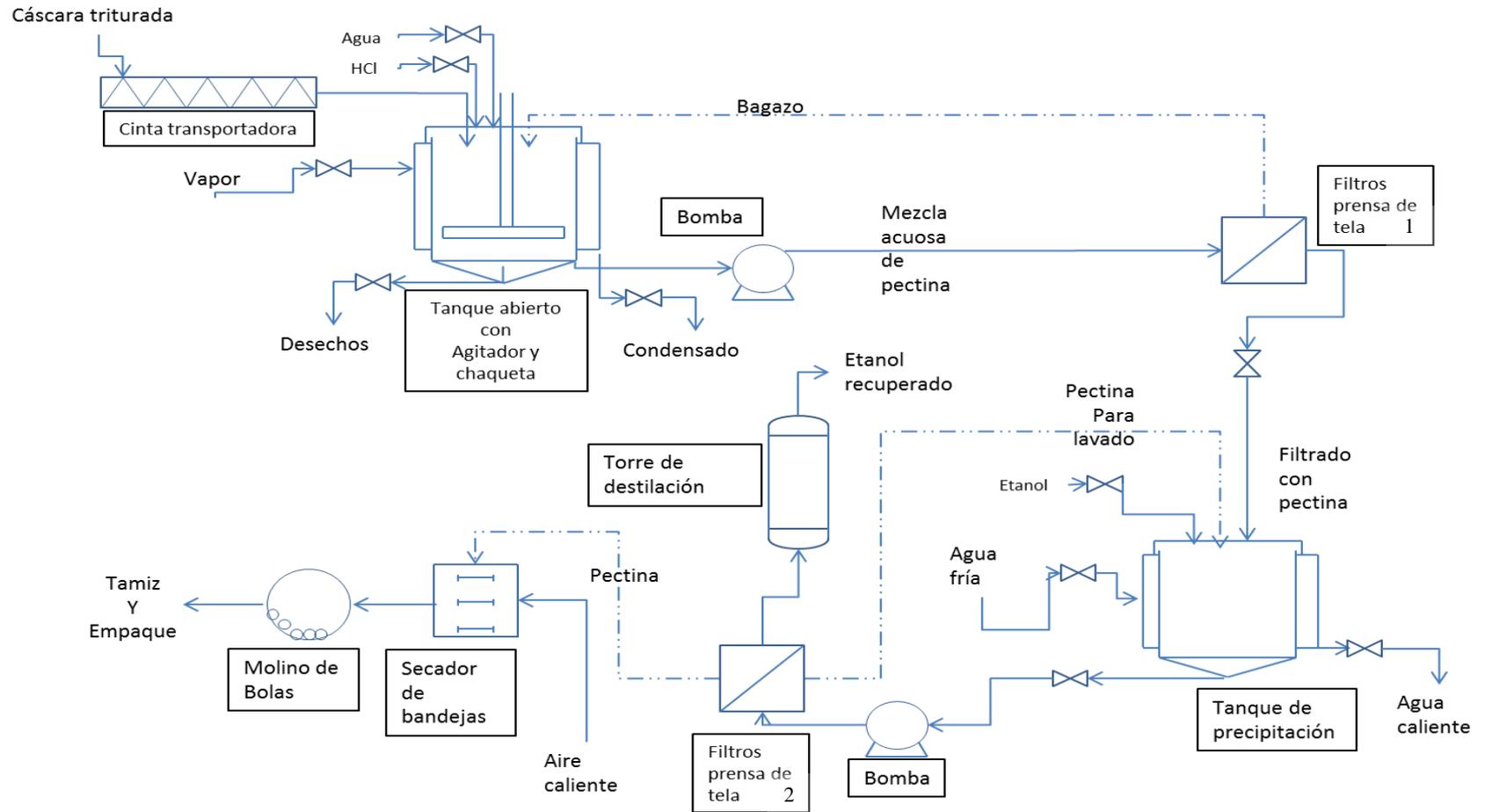
<p>Hidrolisis Ácida</p>	<p>de 1 litro cerrado y sin agitación ya que no había agitadores con la suficiente potencia para lograr movilizar el material pastoso, por lo que el rendimiento dio mas bajo de lo esperado (Ph 1.5, 80°C, rendimiento de 6.23%). A causa de esta problemática se decidió realizar el proceso en un recipiente abierto, teniendo en cuenta que la evaporación del acido debido a que su punto de ebullición aumenta entre mas disuelto esté, con agitación constante (manual) y con las mismas condiciones de temperatura y pH del primer proceso, obteniendo resultados más óptimos (pH 1.5, 80°C, rendimiento de 23.06%).</p>	<p>de inactivación para realizar la hidrolisis, así se ahorran costos y se facilita el proceso de producción. Se añadió una válvula de descargue de desechos para retirar las impurezas del proceso anterior</p>
-------------------------	--	--

<p>Filtración</p>	<p>1. El filtrado de la solución resultante de la hidrolisis se hizo con tela de liencillo para separar completamente el bagazo del líquido con pectina. Se aceleró el proceso mediante la aplicación de una bomba de vacío.</p> <p>2. Después del proceso de precipitación la pectina se filtra con tela de liencillo para separarla de la solución. Este proceso a escala de laboratorio es muy lento por tanto se utilizó una centrifugadora marca Jouan B 311 para acelerar el proceso.</p>	<p>Para el proceso se escogió un filtro prensa marca (IJW) con placas de 1200mmx1200mm con capacidad de 1840 litros. Este tipo de filtro permitirá que todo el flujo del tanque entre y evitaría el re-filtrado sucesivo del flujo de precipitado, ya que la pectina quedaría retenida en su totalidad. No se utiliza una centrifugadora industrial debido a los costos de energía y a los costos de equipo.</p>
	<p>La precipitación en un</p>	<p>Debido a la precaución con que</p>

Precipitación	beaker de 1 litro y se realizó con alcohol etílico comercial al 95%. Se tuvo mucho cuidado debido a que el alcohol etílico es volátil e inflamable.	se tiene que trabajar el alcohol y como son grandes cantidades las que se tienen que usar, se escogió un tanque cerrado con chaqueta donde se hace pasar un flujo de agua para enfriar la solución entrante a aproximadamente 30 grados.
Torre de Destilación	No aplica en laboratorio	Para reducir costos se colocó una torre de destilación fraccionada para la recuperación del alcohol etílico al 95%.
Secador	El secado del material péctico se efectuó en un secador de bandejas haciendo pasar aire a 45°C. la pectina se oscurece si el suministro de aire caliente sobrepasa los 60 °C	Se seleccionó un secador de bandejas con control de temperatura y flujo para evitar la incineración y la pérdida de pectina.
Molino de Bolas	La muestra se pulverizó con un crisol de cerámica y un mortero.	Se eligió un molino de bolas para pulverizar eficientemente la pectina y mejorar su presentación.

## 7.2. DIAGRAMA DEL PROCESO

Figura 14. Diagrama del proceso de extracción



Fuente: Autores

### 7.3. EQUIPOS DEL PROCESO

A continuación se muestran la descripción de los equipos más relevantes del proceso de producción industrial.

#### 7.3.1. TANQUE ABIERTO CON AGITADOR Y CHAQUETA

El tanque abierto con agitador y chaqueta de la Figura 13 tiene capacidad de 1500 l, en este ocurre dos de los procesos más importantes para la extracción de la pectina, inactivación e hidrólisis. La carga que entra es la cascara previamente lavada y triturada, en total 300 Kg, se adiciona 1000 l de agua y se calienta hasta ebullición por unos 10 a 15 minutos con agitación, para inactivar enzimas. El agua con impurezas se decanta por la válvula de desecho y se procede a llenar nuevamente el tanque con agua hasta aproximadamente 1190 l, adicionando HCl hasta ajustar al pH deseado (aproximadamente 8 L para un pH de 2), teniendo en cuenta un factor de seguridad para el tanque de 80% del volumen total. Por la chaqueta pasa un flujo de vapor que calienta la solución a la temperatura deseada durante 60 minutos.

#### 7.3.2. FILTRO PRENSA DE TELA

La solución decantada proveniente del tanque abierto con agitador y chaqueta es llevada a un filtro prensado de 4 a 5 capas de tela mediante una bomba (filtro de prensa 1 de la Figura 13). El bagazo retenido es recirculado de nuevo al tanque para mejorar el rendimiento. El filtrado con pectina pasa al tanque de precipitado. Se usa otro filtro prensado de 4 a 5 capas de tela (filtro de prensa 2 de la Figura 13) para lograr separar la pectina de la solución resultante en el tanque de precipitado y de esta forma evitar la contaminación de la pectina.

#### 7.3.3. TANQUE DE PRECIPITADO

El tanque de precipitado (tanque cerrado con chaqueta de la Figura 13) tiene capacidad para 1800 litros, en el cual ingresan aproximadamente 1000 l del flujo que sale del filtrado de prensa, se adiciona etanol comercial al 95% hasta completar un volumen de 1500 L, que equivale entre el 60 y 80% del volumen de la solución entrante. La mezcla se deja reposar

de 30 a 40 minutos para asegurar la máxima formación de las nubes de pectina. La solución junto con el precipitado pasan a un filtro de prensa para lograr la separación de la pectina; el líquido que sale del filtro pasa a una torre de destilación para recuperar el etanol.

#### 7.3.4. SECADOR DE BANDEJAS Y MOLINO DE BOLAS

La pectina húmeda retirada del filtro que alcanzó la coloración deseada pasa a un secador de bandejas donde se suministra aire caliente a 40C° durante 12 horas. La pectina toma un aspecto sólido y es llevada a un molino de bolas para pulverizarla y luego envasarla.

### 7.4. ANALISIS COSTO/BENEFICIO

#### 7.3.1. INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS

Para el caso de realizar el montaje de una planta piloto de extracción de pectina, se tienen en cuenta las cantidades de materias primas utilizadas en el proceso de extracción a escala laboratorio, para el establecimiento aproximado de los costos en éste aspecto. Las cantidades de las materias primas necesarias para el procesamiento de 300Kg de cáscaras y los costos de distribuidor proporcionados por Laboratorios Sar Ltda se encuentran en la Tabla 14.

Tabla 14. Costos de operación basada en reactivos principales

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Cáscaras de plátano	300Kg	\$0/Kg	\$0
HCl 37%	8 litros	\$87.750/litro	\$702.000
Etanol al 96%	600 litros	\$5.525/litro	\$3'315.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$4'017.000</b>

Fuente: Autores

#### 7.3.2. INGRESOS POR VENTAS

Teniendo en cuenta que el rendimiento de la pectina que conserva la mejor relación cantidad-calidad es de 18,86%, la producción total basada en 300Kg de cáscara procesada sería de aproximadamente 56Kg de pectina. En el mercado Colombiano la pectina tiene un precio promedio de 32.400 pesos por kilogramo [28]. En la Tabla 15 puede observarse el total de ingresos por ventas, asumiendo el precio promedio como el precio de venta.

Tabla 15. Ingresos por venta de pectina.

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Pectina BM Rapid Set	\$32.400/Kg	56Kg	\$1'814.400
TOTAL			<b>\$1'814.400</b>

Fuente: Autores

### 7.3.3. BENEFICIO/COSTO DE OPERACIÓN

Teniendo en cuenta la información de la Tabla 14, en el procesamiento de 300Kg de pectina, los costos de operación ascienden a \$4'017.000, mientras que los ingresos por ventas ascienden a \$1'814.000 según la Tabla 15; Esto indica un déficit de \$2'202.600 tal y como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Balance beneficio-costo.

INGRESO	COSTOS	BALANCE (INGRESOS-COSTOS)
\$1'814.400	\$4'017.000	<b>-\$2'202.600</b>

Fuente: Autores

En base al déficit presentado puede establecerse que se necesitan abaratar los costos en más de \$2'202.600 para que el proceso puede llegar a ser económicamente rentable por concepto de operación de materias primas; esto se logra recuperando el etanol al 96% mediante una torre de destilación; la cantidad de etanol a recuperar debe ser mayor a la equivalencia en litros de etanol de los \$2'202.600 correspondientes al balance, como se muestra en la Tabla 17, de este modo se pueden establecer las características de la torre de destilación a utilizar para recuperar la mayor cantidad de etanol posible e incrementar la rentabilidad del proceso.

Tabla 17. Etanol a recuperar para rentabilidad del proceso

Déficit	Precio de Etanol	Etanol a recuperar (Déficit/Precio de Etanol)
\$2'202.600	\$5.525/litro	<b>398,7 litros</b>

Fuente: Autores

## 8. CONCLUSIONES

De la experiencia alcanzada en el manejo de los materiales relacionados con el proceso de extracción de pectinas, así como el control de calidad, en lo referente a rendimiento, contenido de humedad cenizas totales, contenido de metoxilo, peso equivalente y acides libre y grado de esterificación, se concluye:

- Es posible extraer pectina a partir de cascaras de plátano, tal como se observa en los resultados logrados durante el desarrollo del proceso de investigación, adelantado con el propósito de conocer las condiciones del proceso de obtención y las influencias que las variaciones en ellas puedan causar sobre la calidad de la pectina y de esta forma evaluar las posibilidades para ser empleadas en la industria de alimentos o farmacéutica.
- Se logró tener una idea clara la naturaleza, calidad y comportamiento de la pectina presente en la cascara de plátano provenientes del procesamiento en establecimientos de comida y con esta información y ensayos hechos a nivel de laboratorio, se podrá escalar a su producción a nivel industrial.
- La planta productora de pectina debe proyectarse con una capacidad y con unas facilidades que permitan procesar todo el material que se disponga, que cuente con personal para seleccionar, lavar, cortar las cascaras y el equipo para extraer en caliente, filtrar, prensar y para recuperar el alcohol empleado en la precipitación. La planta debe operar con vapor como fuente primordial de energía.
- A tiempos de extracción constantes, la disminución del pH y el aumento de la temperatura producen un incremento del rendimiento de la pectina extraída, ya que se incrementa la hidrólisis de los enlaces de la protopectina, que pasa a pectina soluble. El máximo porcentaje de pectina extraída corresponde a una muestra obtenida a 80°C, pH 1,5 y tiempo de 60 minutos, lo que corrobora la tendencia descrita anteriormente y corresponde a una muestra extraída a la temperatura más alta y el pH más bajo de todas las condiciones ensayadas.

- El porcentaje de esterificación varía del 75% al 95 %, lo que calificaría a la pectina extraída como de alto metoxilo, pero esos valores no son correspondientes al valor real debido a la posibilidad de que otros grupos carboxilos puedan estar esterificados aumentando considerablemente el % de esterificación. Para evaluar la naturaleza de la pectina se tiene en cuenta prioritariamente el contenido de metoxilo o porcentaje de metoxilo.
- La disminución del pH de extracción produce también una disminución del % de esterificación, debido al aumento de la hidrólisis de los ésteres en los grupos carboxilos esterificados. Sin embargo, ni la temperatura ni el tiempo de extracción tienen influencia sobre el porcentaje de esterificación.

## 9. RECOMENDACIONES

- Para mejorar el rendimiento de extracción es necesario mantener agitación constante para lograr mayor área de contacto de la solución con las cascaras trituradas.
- Hacer un proceso de selección exhaustivo de la materia prima escogiendo las cascaras con mejor aspecto, limpias y sin manchas, con el fin de evitar que sean hidrolizados componentes no deseados que afecten la calidad de la pectina extraída.
- Para un mejor aspecto en la coloración de la pectina se recomienda hacer lavados sucesivos disolviendo la pectina en agua acidulada (pH 1.5 a 3), y precipitarla nuevamente.
- Para el caso del análisis del peso equivalente y de la acides libre, se tiene que tener en cuenta el cuidado en la titulación con referencia a la cantidad de NAOH requerida para estabilizar las solución, debido a que errores en este dato podrían afectar de manera significativa los resultados de peso equivalente y acides libre.
- Usar un secado al vacío en lugar de un secado por convección, esta es la causa de el oscurecimiento final de la pectina.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Manual del Exportador de Frutas, Hortalizas y Tubérculos; 2000; Disponible en: <http://interletras.com/manualCCI/Frutas/PLATANO/platano02.htm>.
2. Rojas J, Perea A, Stashenko E; Obtencion de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos; Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Vol 16, pag 110-115. Numero 1, 2008;Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
3. Legiscomex Colombia; base de datos de importaciones; 2009-2010
4. R. VASQUEZ, L. RUESGA, R. D'ADDOSIO, G. PÁEZ Y M. MARÍN; Pectinextractionfromplantain (*Musa* AAB, sub-groupplantain) peelHarton clone; Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia; Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2008, 25: 318-333
5. Cayón, G.; L. Valencia, H. Morales y A. Domínguez; Desarrollo y producción del plátano Dominic Hartón (*Musa* AAB Simmonds) en diferentes densidades y arreglos de siembra. Agronomía Colombiana; 2004
6. Arley D. Zapata Z., Carlos A. Escobar G., Sebastián F. Chavalito, Roque A. Hours. Evaluación de la capacidad de solubilización de pectina de cáscara de limón usando protopectinasa-se. Vital, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. ISSN 0121-4004 Vol. 16, págs.67-74. Número 1, 2009, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
7. Claudio FredesMonsalves, Nelson Loyola López, Juan Carlos Muñoz Cruz; Extracción de pectinas de vitis labrusca cv. Concord para producir jaleas; Revista Idesia Chile. 2009, Vol 27; pags 9-13. Disponible en: URL: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0718-34292009000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0718-34292009000300002&script=sci_arttext). Consultado Agosto del 2010.
8. FERREIRA, S.; Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial; Universidad nacional de Colombia, Facultad de ciencias; pp. 20; 2007
9. ATTRI, B. L. AND MAINI, S. B. (1996). .Pectin from Galgal (*Citrus pseudolimon* Tan) peel..En:Bioresource Technology, No. 55. pp .89-91.

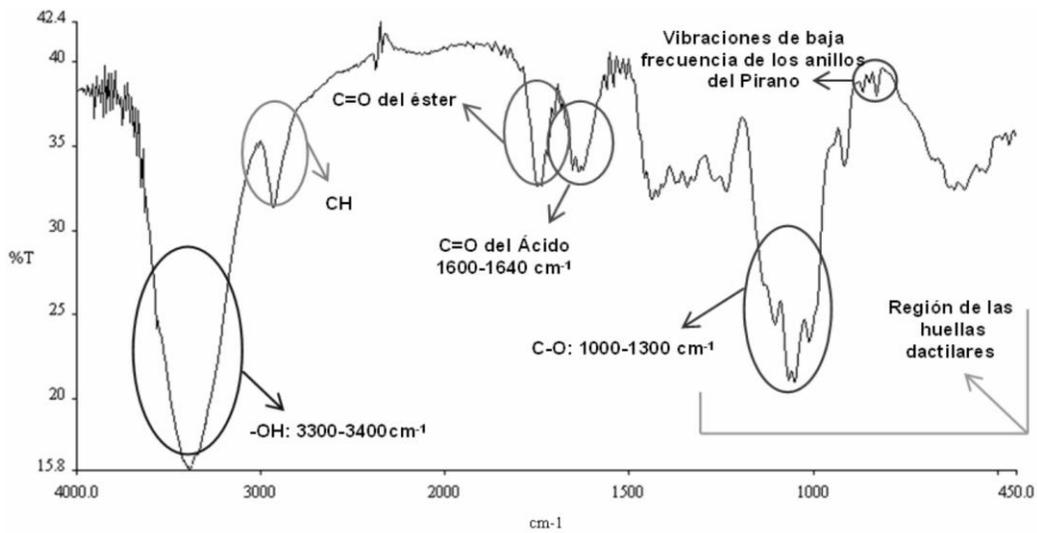
10. HUI Y.H.; Encyclopedia of Food Science and Technology; John Wiley and Sons Inc.; N.Y. pp. 2039-2043; 1996
11. KERTESZ, Z.I. (1951) "The Pectic Substances". Interscience. New York DE VRIES, J. A.; VORAGEN, A.G. J.; ROMBOUTS, F. M. y PILNIK, W. (1984). Changes in the structure of apple pectic substances during ripening and storage. Carbohydr. Polymers 4, 3-13
12. BERNAL, C.; Caracterización de la pectina en la *Pasiflora quadrangularis* (Badea), Tesis Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, departamento de química; pp. 21-24; 1985
13. RANKES, M.; Manual de la industria de los alimentos; ed. Acribia, Zaragoza, España; pp. 393-394; 429; 1993 \*Acosta, G.; Comportamiento de la pectina de la pulpa de guayaba conservada con bisulfito de sodio. trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias; 1984.
14. Acosta, G.; Comportamiento de la pectina de la pulpa de guayaba conservada con bisulfito de sodio. trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias; 1984.
15. RINCÓN, L.; Estudio de factibilidad de obtención de pectina a partir de desechos cítricos, Trabajo de grado, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia; 1990.
16. OWENS, H.S.; MIERS, J.C. Y MACLAY, W.D. (1948). Distribution of molecular weights of pectin propionates. J. Colloid. Sci. 3, 277-291
17. MCCREADY, R.M.; OWENS, H.S.; Alkali-hydrolyzed pectins are potential industrial products, Part I, food industries, 69, 1944
18. WALTON, E.D.; SINCLAIR, B.; "The biochemistry and physiology of the lemon and other citrus fruits"; University of California. Division of agricultural sciences; 1984
19. J.C. CONTRERAS-ESQUIVEL, L. BANDA-REYES, J.C. MONTAÑEZ-SAENZ; EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA DE PECTINA DE MANGO; 2003
20. JORDI, P.G.; "Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón"; Universidad de Lleida; 1996

21. PILNIK, W; Rombouts, F.M. (1979) "Pectic Enzymes" en Polysaccharides in Foods. Butlerwarths
22. NAVARRO, G.; NAVARRO, S. (1985). "Sustancias pécticas: química y aplicaciones". Secretariado de publicaciones e intercambio científico. Universidad de Múrcia (ed.)
23. PRUTHI,J.S.; MOOKERJI, K.K; LAL, G.; "Studies on the hydration of guava for subsequent recovery of pectin during off-season.", central food tech. Res. Inst. Mysore, India, 1960
24. SALISBURY, F.: Ross, C.; "Fisiología vegetal". Grupo editorial Iberoamericana pp 10, 336; Mexico, 1994
25. HERBSTREITH Y FOX. (2005). "The specialists for pectin." Neuenburg, AL. Edition 2/8. 33 p.
26. ALVAREZ R., ERIKA M.; "Desarrollo de un proceso a escala laboratorio para la obtención de pectina y taninos a partir de la algarroba (*Hymenaea Courbaril-L*) para ser utilizado en la industria alimenticia y la del cuero, respectivamente." Universidad EAFIT, Medellín, 2007
27. GUZMÁN, R.; SUÁREZ, A.; CASTRO, C. (1975). Determinación del contenido de Pectina en el Mango y su aplicación en la elaboración de mermelada. Boletín informativo, DEA. Colombia: Universidad Nacional de Bogotá. 25-37.
28. García,M.C.; Penagos,G.C; "El entorno comercial de la pectina en la industria alimentaria antioqueña.", Revista Soluciones de Postgrado EIA,Número 7. P.121-131, 2011.

## 11. ANEXOS

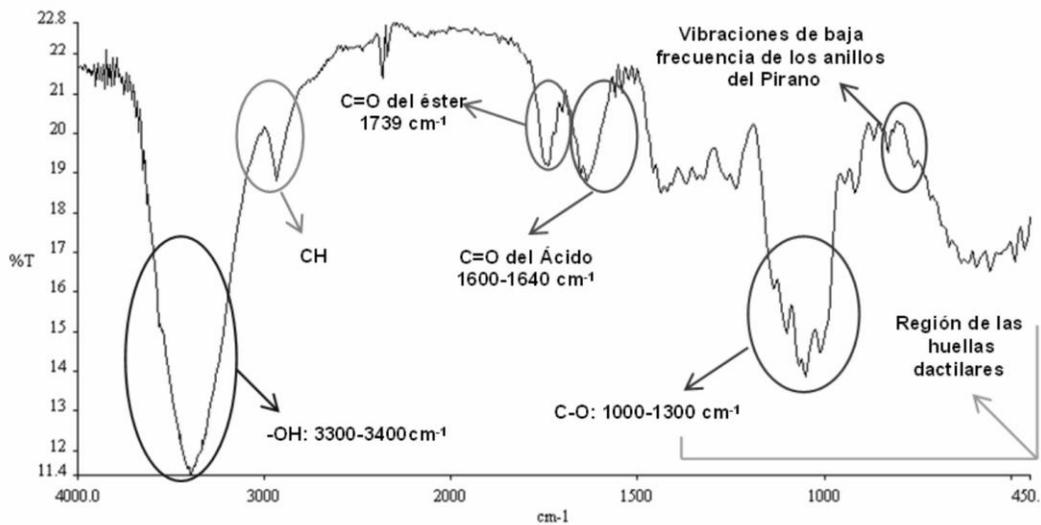
### ANEXO A. ESPECTRO INFRARROJO DE PECTINA DE MANZANA RAPID SET Y LOW SET

1. Figura 1: Espectro infrarrojo de la pectina “Rapid set” estándar.



Fuente: A. A. Kamnev, M. Colina, J. Rodríguez; FoodHydrocol;(1998); PP 263.

2. Figura 2: Espectro infrarrojo de la pectina “low set”. [24]



Fuente: A. A. Kamnev, M. Colina, J. Rodríguez; FoodHydrocol;(1998); PP 263.

## ANEXO B. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA Y EXTRACCIÓN

- **RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA**

Figura 3: Muestra de cascara para experimentación



Fuente: Autores

- **PELADO**

Figura 4. Pelado de las cascaras



Fuente: Autores

- **INACTIVACION DE ENZIMAS**

Figura 5. Inactivación de enzimas



Fuente: Autores

- **HIDROLISIS**

Figura 6: Montaje de Hidrolisis



Fuente: Autores

Figura 7: pHs de extraccion



Fuente: Autores

- **PRECIPITADO**

Figura 8: Precipitado de pectina



Fuente: Autores

- **SEPARACIÓN**

Figura 10: Separación del gel de pectina mediante centrifugación



Fuente: Autores

- **SECADO Y TRITURACION**

Figura 11: pectina húmeda



Fuente: Autores

Figura 12: Pectina seca y triturada



Fuente: Autores