

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Influencia del Secado sobre la Captación de Agua de Pectina  
extraída a partir del Citrus x Aurantifolia Swingle”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA DE ALIMENTOS**

Presentada por:

Cecilia Catalina Grünauer Espinoza

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco con todo mi ser a Dios el cual me protege, guía mi camino y que por él, yo superé las adversidades, a mi madre, a mi tía Rocío y a mi padre quienes estuvieron junto a mi cuando más lo necesité y a la Ing. Fabiola Cornejo quien me brindó todo su apoyo y empuje, para la culminación de mi tesis.

# DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MI TIA ROCIO

A MIS HERMANOS

A MARIANITA

A MIS GATOS

A LAS INGENIERAS FABIOLA Y PRISCILLA

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



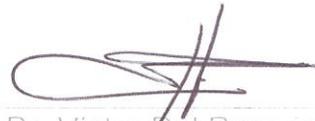
Ing. Priscila Castillo S.  
DELEGADA DEL DECANO FIMCP  
PRESIDENTE



Ing. Fabiola Cornejo Z.  
DIRECTORA DE TESIS



Ing. Grace Másquez V.  
VOCAL



Dr. Víctor Del Rosario Ch.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de ésta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación De la Espol)



Cecilia Catalina

Grünauer Espinoza

## RESUMEN

La pectina es un polisacárido lineal formado por cadenas de ácido galacturónico parcialmente metiladas. Se lo encuentra en los tejidos blancos de los frutos cítricos confiriendo rigidez a la pared celular. Por tener la capacidad de formar hidrogeles elásticos es muy empleado en la industria alimentaría como gelificante de mermeladas y en farmacéutica como espesante.

Para mejorar la capacidad gelificante de la pectina, se analizó el efecto de la temperatura empleada durante la etapa de secado y su consecuencia sobre la gelificación.

Para este estudio se empleó limones de variedad Sutil de nombre científico *Citrus Aurantifolia Swingle*, donde se caracterizó el fruto mediante la determinación del índice de madurez. Posteriormente, se separó las partes blancas del cítrico que corresponden al albedo, septum y el eje, de las cuales se extrajo la pectina mediante hidrólisis ácida en caliente y coagulación con alcohol etílico de 98°. A esta se la sometió a secado empleando dos temperaturas a 50 y 70°C, con la cual se elaboraron curvas de secado, isotermas, grado de metoxilación, ácido Galacturónico y capacidad de hinchamiento en donde al final se preparó una base de mermelada donde se adicionó las muestras y se midió su viscosidad.

Se encontró que la temperatura es un factor que afecta el grado de esterificación de la pectina, reduciendo su contenido agua ligada y de

metoxilos; a medida que incrementa la temperatura durante el secado se produce una mayor degradación de la pectina. Esta degradación se debe a la ruptura de los enlaces que produce una separación del grupo oxidrilo del agua con el metoxilo. El metoxilo sin el agua ligada queda expuesto y es fácilmente hidrolizable, dando lugar a la desesterificación de la molécula con la consecuente formación del catión metilo y el anión carboxilo el cual da lugar a una pectina de bajo grado de metoxilación y como resultado la disminución de la capacidad gelificante de la pectina.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.....	2
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
CAPÍTULO 2	
2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	5
2.1. Limón Sutil.....	5
2.1.1. Usos.....	7
2.1.2. Producción.....	8
2.1.3. Condiciones de Almacenamiento.....	9
2.2 Materiales y Métodos.....	10

2.2.1. Condiciones del Experimento.....	10
2.2.2. Métodos de Análisis.....	10
2.3 Análisis de Resultados .....	11
2.4 Conclusiones y Recomendaciones.....	15

### CAPÍTULO 3

3. OBTENCIÓN DE PECTINA.....	17
3.1. Cuerpos Pécicos.....	17
3.1.1. Estructura.....	17
3.1.2. Clasificación.....	18
3.1.3. Grado de Esterificación (G.E).....	20
3.1.4. Enzimas Pécicas.....	25
3.1.5. Propiedades de las Pectinas.....	26
3.1.6. Mecanismo Químico de Obtención de Pectinas.....	29
3.1.7. Mecanismo de Formación de Gel de Pectina.....	31
3.2. Materiales y Métodos.....	34
3.2.1. Condiciones del Experimento.....	34
3.2.2. Extracción de Pectina a Nivel de Laboratorio.....	34
3.2.3. Métodos de Análisis.....	39
3.3. Análisis de Resultados.....	39
3.4. Conclusiones y Recomendaciones.....	41

## CAPÍTULO 4

4. EFECTO DEL PROCESO DE SECADO SOBRE LA PECTINA.....	43
4.1. Marco Teórico.....	43
4.1.1. Conceptos básicos.....	43
4.1.2. Interpretación de las curvas de velocidad de secado.....	46
4.1.3. Isotherma de Adsorción y Desorción.....	47
4.1.3.1. Histéresis.....	49
4.1.4. Monocapa de BET (Brunauer – Emmett – Teller).....	50
4.1.5. GAB.....	51
4.2. Materiales y Métodos.....	52
4.2.1. Condiciones del experimento.....	52
4.2.2. Determinación de grupos Metoxílicos y Ac.Galacturónico	53
4.2.3. Elaboración de isotermas de adsorción.....	54
4.2.4. Curvas de Secado a Temperaturas de 50, 70°C.....	56
4.2.5. Capacidad de hinchamiento (CH).....	57
4.3. Análisis de Resultados.....	59
4.4. Conclusiones y Recomendaciones.....	67

## APÉNDICES

## BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

$a_w$	Actividad de Agua
BET	Brunauer – Emmett – Teller
°C	Grados Centígrados
CH	Capacidad de Hinchamiento
Der	Derecha
Fig	Figura
GAB	Guggenheim-Anderson-de Boer
Gr	Gramos
$gH_2O/100gSS$	Gramos de agua por 100 gramos de sólido seco
$g/cm^3$	Gramos por centímetros cúbicos
GE	Grado de Esterificación
h	Hora
HR%	Humedad Relativa
Izq	Izquierda
Kg	Kilogramo
Lt	Litro
Máx	Máximo
Mg	Miligramo
Min	Mínimo
min	Minuto
mm	Milímetro
mM	Milimolar
ml	Mililitros
MCDB	Contenido de humedad en base seca
N	Normalidad
PME	Polimetiesterasa
PG	Poligalacturonasa
Ref	Referencia
Seg.	Segundo
SS	Sólido Seco
T	Tiempo
Temp.	Temperatura
W	Cantidad máxima de humedad permitida

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
#	Número
°C	Grados Centígrados
-OCH <sub>3</sub>	Metoxilo o grupo metoxilado
CH <sub>3</sub> -O	Metoxilo o grupo metoxilado
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	Ácido Galacturónico
Ca <sup>++</sup>	Calcio ionizado o libre catión de valencia 2
Ca <sub>2</sub>	Calcio ionizado o libre de valencia 2
COCH <sub>3</sub>	Grupo metilo unido a un carbono
COOH	Ácido Carboxílico
COO-	Ácido Carboxílico Ionizado anión
COOCH <sub>3</sub>	Ester Metílico
H	Hidrógeno
H <sup>+</sup>	Hidrógeno Protonado (catión)
Mg <sup>++</sup>	Magnesio ionizado o libre catión de valencia 2
Mg <sub>2</sub>	Magnesio ionizado o libre valencia 2
OH <sup>-</sup>	Oxidrilo o hidroxilo (anión)
R-	Grupo químico funcional que contienen átomos de carbono

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
FIGURA 2.1	Citrus X Aurantifolia Swingle.....	5
FIGURA 2.2	Partes de la Lima: Citrus Aurantifolia Swingle.....	7
FIGURA 3.1	Estructura de las Pectinas.....	18
FIGURA 3.2	Pectina de Grado de Esterificación 50.....	20
FIGURA 3.3	Estructura de un Ácido Galacturónico (Der). Ácido Galacturónico metoxilado (Izq).....	21
FIGURA 3.4	Estructura de la Pectina de Alto Metoxilo.....	23
FIGURA 3.5	Estructura de la Pectina de Bajo Metoxilo.....	25
FIGURA 3.6	Degradación Enzimática de las Pectinas. ....	26
FIGURA 3.7	Mecanismo de Hidrólisis Catalizada por Ácidos Alquil-Piranosidos.....	30
FIGURA 3.8	Estructura y Formación del Gel de Pectina: (Izq) Pectina de Bajo Metoxilo. (Der) Pectina de Alto Metoxilo.....	32
FIGURA 3.9	Gelificación de las Pectinas: Estructura Tridimensional.....	33
FIGURA 4.1	Etapas de la Curva de Secado.....	46
FIGURA 4.2	Tipos de Isothermas.....	47
FIGURA 4.3	Diagrama de Histéresis.....	49
FIGURA 4.4	Esquema de Monocapa en el Alimento.....	50
FIGURA 4.5	Incubación de las Cajas con las Isothermas a Temperatura constante 32°C.....	55
FIGURA 4.6	Secado de Pectina de izq. a der. Secado de Pectina húmeda, Pectina Seca.....	56
FIGURA 4.7	Capacidad de Hinchamiento en Probeta, Efecto de la sal de Citrato a pH ácido sobre la pectina.....	58
FIGURA 4.8	Viscosímetro Rotacional con la Muestra de Pectina en base de Jarabe Gelificado.....	58
FIGURA 4.9	Isotherma de la Pectina en Gel a 32°C.....	59
FIGURA 4.10	Isotherma de la Pectina Seca a 50°C.....	60
FIGURA 4.11	Isotherma de la Pectina Seca a 70°C.....	60
FIGURA 4.12	Curvas de Secado: Humedad Versus Tiempo a 50°C.....	62
FIGURA 4.13	Curvas de Secado: Humedad Versus Tiempo a 70°C.....	62
FIGURA 4.14	Esfuerzo cortante versus Gradiente de Velocidad de las muestras de pectina.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Composición Porcentual del Limón Sutil según sus partes.....11
Tabla 2	Resultados de la Caracterización del Limón Sutil en Estado Verde Inmaduro.....12
Tabla 3	Análisis Físicos de los Limones, Clasificados por tamaños.....13
Tabla 4	Diámetros Longitudinales para clasificación del limón por Tamaños.....14
Tabla 5	Tipos de pectina de Alto Metoxilo según su Porcentaje de Esterificación.....23
Tabla 6	Relación de Agua, Muestra, Alcohol a ser Añadido en los Diferentes Procesos durante la Extracción de la Pectina.....37
Tabla 7	Diagrama de Flujo del proceso de Extracción de la Pectina Cítrica.....38
Tabla 8	Rendimientos de la Pectina Extraída Frente a Diferentes Etapas de Extracción de Pectina.....40
Tabla 9	Sales Empleadas y sus Actividades de Agua.....55
Tabla 10	Monocapa de las Isotermas Obtenidas mediante los Modelos de BET y su Porcentaje de Error.....61
Tabla 11	Efecto de la aplicación de calor sobre las muestras, donde se analiza contenido de Metoxilo y Ácido Galacturónico.....63
Tabla 12	Capacidad de Hinchamiento de las Muestras de Pectina Secas a 50°C y 70°C, .....64
Tabla 13	Viscosidades Pertenecientes a la pectina de 50°C, 70°C y Pectina Comercial.....66

## INTRODUCCIÓN

La pectina es un polisacárido de gran peso molecular proveniente de la cáscara de la manzana y de los frutos cítricos. En este último se encuentra formando parte de la cáscara blanca llamada albedo. Se lo emplea principalmente como espesante en la fabricación de mermeladas en la industria alimentaria, en jarabes y ungüentos en la farmacéutica.

En este trabajo se establece el método de extracción de la pectina a partir del cítrico que pertenece a la familia de las limas cuyo nombre científico es *Citrus Aurantifolia* Swingle, pero en el Ecuador es más conocido como limón de variedad Sutil. En este país este fruto se lo destina netamente para consumo interno, aprovechado como aderezo, para encurtir el tradicional ceviche, limonadas o para tratamientos en medicina natural. Paradójicamente, su empleo industrial está muy poco explotado.

Como resultado de la extracción, se obtiene una pectina húmeda en forma de gel. Partiendo de una pectina húmeda recién extraída, se pretende analizar su estructura así como su capacidad de formación del gel si se ve afectada al ser sometida a un proceso de secado.

# CAPÍTULO 1

## 1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

### 1.1. Objetivos

Caracterizar el limón variedad Citrus Aurantifolia Swingle mediante un análisis de índice de madurez.

Porcentualizar las partes que componen el limón y clasificarlos por diámetro.

Establecer las condiciones para la extracción a nivel de laboratorio de la pectina de alto metoxilo a partir del albedo, septum y eje del fruto, empleando hidrólisis acida.

Realizar la isoterma de adsorción y curvas de secado, para determinar la monocapa y el tiempo de secado, en la cual presente la mayor estabilidad y presencia de grupos metoxílicos.

Realizar pruebas de laboratorio para cuantificar los grupos metoxílicos y ácido galacturónico, en las muestras secas a 50°C, 70°C.

Analizar el efecto del secado a 50°C y 70°C sobre el grado de esterificación de la pectina y su influencia sobre la formación del gel.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Las pectinas se comercializan en forma de polvo, para su obtención deben ser secadas a temperaturas superiores o iguales a 70°C lo que va a causar una pérdida de los grupos metoxilo, reduciendo su capacidad de gelificar.

El objeto de este estudio es establecer el efecto que pueda tener la temperatura sobre la estructura de la pectina. Empleando temperaturas iguales o inferiores a 70°C con la finalidad de evitar la pérdida de metoxilos.

### **Hipótesis**

A una temperatura igual o superior a los 70°C se producirá disociación de los grupos metílicos con el carboxilo del ácido galacturónico mediante la ruptura del enlace que los une por

hidrólisis. Dando como resultado, la pérdida de la capacidad de captación de agua para formar el gel

El contenido de agua ligada va a afectar la capacidad de formación de gel de pectina.

# CAPÍTULO 2

## 2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

### 2.1. Limón Sutil.

También llamada lima ácida, lima gallega, limón ceutí, limón mexicano, limón peruano, limón criollo o limón de pica, pertenece a la clasificación de las Limas, aunque en países como Ecuador y Perú curiosamente se la llama Limón en lugar de Lima, su nombre científico (*Citrus x aurantifolia* Swingle) (Ver figura. 2.1).



**FIGURA 2.1: CITRUS X AURANTIFOLIA SWINGLE**

Se caracteriza por su fruto redondeado u oval, de 2 a 5 cm de diámetro. Esta compuesto de 3 partes, el flavedo o exocarpio, albedo o mesocarpio y endocarpio. El flavedo es una capa delgada que posee los pigmentos que cambian de color durante la maduración de verde a amarillo, de gran aroma debido a los compuestos terpénicos que componen los aceites esenciales que allí se encuentran. El albedo es la parte blanca que contiene pectinas que le confieren firmeza a la corteza. A medida que .el fruto va madurando el albedo tiende a degradarse por acción enzimática, debido a esto cosechan los cítricos en estado inmaduro (verde) para obtener el mayor rendimiento y calidad de pectina. Finalmente, el endocarpio está formado por la pulpa que contiene las vesículas con el jugo. El endocarpio se encuentra dividido por el séptum formando de 10-14 gajos en ellos se encuentran las semillas, 10 aproximadamente por lima ubicadas alrededor del eje central. El jugo es de sabor ácido, con alto contenido: enzimático, vitamina C y ácido cítrico. (Ver figura. 2.2).



**FIGURA. 2.2: PARTES DE LA LIMA: CITRUS AURANTIFOLIA SWINGLE.**

### **2.2.1. Usos.**

Debido a su alto contenido en vitamina C, la lima es muy utilizada en medicina. Por el bajo pH de su pulpa, la lima es usada para evitar el pardeamiento de las frutas y hortalizas, para el encurtido y escabechado, y como ingrediente fundamental de los tradicionales ceviche y encebollado. La corteza o flavedo es empleada en repostería, panadería, perfumería y aromaterapia ya que posee los aceites esenciales. Este último y las pectinas que se ubican en el albedo y Septum, son de alto costo, muy apetecidas en el mercado mundial y su valor comercial incrementa según su pureza y características.

La pectina es empleada principalmente como gelificante, en la industria alimenticia durante la elaboración de mermeladas, jaleas y en cobertura de quesos, en la industria farmacéutica para dar consistencia a cremas, pomadas y jarabes como protectores en afecciones gastrointestinales, gastritis y diarreicas. El poder protector de las pectinas a nivel de la mucosa digestiva se debe a su propiedad de retener agua y de absorber toxinas.

### **2.2.2. Producción**

El cultivo del limón se desarrolla en la franja que se localiza desde el Ecuador hasta los grados latitud norte y sur, en la cual predominan los climas tropicales y subtropicales. Se cosecha durante todo el año, su rendimiento va a depender de factores netamente climatológicos como temperatura y humedad. Las condiciones climáticas como las lluvias o las sequías influyen en la producción y el tamaño del fruto. En meses de lluvia desde diciembre hasta abril (invierno en Ecuador) se obtienen limones de gran tamaño cuyo diámetro es de aproximadamente 5 cm. En meses posteriores, el tamaño del fruto tiende a disminuir con el decrecimiento de las lluvias. Por ejemplo, en la provincia de Santa Elena. en la comuna

Barcelona (conformada por 35 familias con 5 miembros cada una, dependen de la venta de este producto) se cultiva aproximadamente 28 hectáreas de limón variedad sutil de los cuales se cosechan por hectárea aproximadamente 40 sacos por mes de 800 a 1200 limones.\*. Los primeros son de gran tamaño y se presentan en temporada de lluvias, los segundos son de menor tamaño presentándose en temporada de escasez de lluvias. El costo por saco de limones fluctúa entre los 4 y 10 dólares

### **2.2.3. Condiciones de almacenamiento**

Para ayudar a la conservación del fruto es necesario mantener las condiciones que se ven en el apéndice A.

---

\* REF. Datos obtenidos de una encuesta realizada en abril del 2007 a la comuna Barcelona (Autor Cecilia Grunauer)

## **2.2. Materiales y Métodos**

### **2.2.1. Condiciones del Experimento**

La materia prima debe pertenecer a la misma variedad y ser de color verde oscuro.

### **2.2.2. Métodos de Análisis**

Para la caracterización de los limas se les realiza ensayos por triplicado al jugo extraído, de acidez total (19); expresada como ácido cítrico, pH a 20°C y sólidos totales (°Brix) (20); con los cuales se determina el índice de madurez. Esta relación determina el balance del sabor entre el dulzor y la acidez (  $I = \text{SST/Acidez}$  ) (20); la que aumenta con la maduración y varía a lo largo de la temporada para frutas como el mismo estado de madurez.

### **Rendimientos**

Se analiza el diámetro del fruto mediante un calibrador, además se recopilan datos sobre el correspondiente volumen y peso de cada componente del limón para la observación de su rendimiento y posterior utilización del recurso.

### 2.3. Análisis de Resultados

La tabla 1 se muestra la composición del limón según sus partes, de las cuales un 37.4% representa la porción de materia que contiene pectina comprendida mayoritariamente por el albedo con un 30.3% seguida por el septum y eje 7.1%, cabe anotar que los hollejos también contienen pectina pero en menor proporción menos del 0.5%, por lo cual no se los empleo ni tabuló.

<b>PARTES DEL LIMÓN</b>	<b>%</b>
Hollejos y Zumo	45.0
Cáscara blanca: Albedo	30.3
Cáscara verde: Flavedo	14.6
Septum y eje	7.1
Semillas	3.0
<b>Total</b>	<b>100</b>

**TABLA. 1: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL LIMÓN SUTÍL  
SEGÚN SUS PARTES**

El zumo y los hollejos son el componente mayoritario del limón, siendo el zumo el de mayor cantidad que esta ubicado dentro de los hollejos, que son vesículas que contienen el jugo, estos últimos mediante pruebas realizadas se comprobó que contienen material pectínico.

La materia prima inmadura es fácilmente reconocible ya que posee un color verde oscuro predominante, y mediante análisis de laboratorio se puede determinar su grado de madurez, a medida que el color se va aclarando, es decir cuando tiende a cambiar de verde a amarillo va indicando un proceso maduración. La coloración es un indicador del estado de madurez del fruto. En la tabla inferior se analizo varias muestras de limones de color verde oscuro dando los siguientes resultados.

<b>ANÁLISIS</b>	<b>RESULTADOS</b>
Acidez Titulable % ácido cítrico	0.0789
Sólidos Totales °Brix	5
Ph	2.44
Índice de Madurez	63.37
Densidad del jugo (g/cm <sub>3</sub> )	1.025

**TABLA. 2: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL  
LIMÓN SUTIL EN ESTADO VERDE INMADURO**

Se observa que los limones analizados poseen una madurez intermedia 63.37, faltando un 36.36% para que el limón termine su

etapa de maduración. Mostrando que para la extracción de pectinas estos deben ser cosechados con un menor índice de madurez.

ANÁLISIS	TAMAÑO	
	Grande	Pequeño
Peso del jugo (g)	10.25	9.26
Densidad del jugo (g/cm <sup>3</sup> )	1.02	1.02
Peso de la cáscara (g)	10.07	6.87
Volumen del jugo obtenido (ml)	14.30	9.94
Peso de Semillas (g)	0.74	0.77
Residuo: Semillas+cáscara	10.81	7.64
Número de semillas	8.00	6.80

**TABLA. 3: ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS LIMONES, CLASIFICADOS POR TAMAÑOS.**

Con un limón grande se puede obtener un 45.58% mas de cáscara en relación al limón pequeño.

De la tabla anterior se observa que el limón de mayor tamaño posee un mayor número de semillas con una masa inferior que el limón pequeño, esto hace que el peso del fruto tienda a aumentar.

Tamaño	Diámetros longitudinales (cm)	
	Max	Min.
Grande	4.5	3.8
Pequeño	3.5	2.5

**TABLA. 4: DIÁMETROS LONGITUDINALES PARA CLASIFICACIÓN DEL LIMÓN POR TAMAÑO.**

En la tabla superior se observa los diámetros longitudinales para la clasificación del limón entre grandes y pequeños. Siendo los grandes hasta un tamaño de 4.5 y en algunos casos 5 cm de longitud mientras que el limón mas pequeño estaba alrededor de los 2.5 cm

## **2.4. Conclusiones y Recomendaciones**

### **Conclusiones**

1. Con un índice de madurez menor al 50% se obtiene una mayor acidez cítrica y una menor proporción de sólidos totales lo que mejora el rendimiento y calidad de las pectinas a extraer.
2. Aproximadamente el 37.4% de un limón grande esta constituido de material aprovechable para la obtención de pectinas, sin contar con los hollejos. Básicamente de ahí el 30.3% lo forma el albedo y el 7.1% el septum y eje de fruto.
3. Cuando el fruto, limón sutil, es colocado en refrigeración a temperatura 9°C su aspecto exterior no varía, pero parte su interior sufre un proceso de maduración. Además al extraer una pectina se obtiene una pectina amarillenta con alto contenido de azúcares lo que la hace fermentable y fácilmente.

### **Recomendaciones**

1. Si se va a emplear el jugo de limón, para una industrialización, se recomienda el corte con cuchillos de plástico aserrados, debido a que el metal es catalizador de reacciones enzimáticas,

principalmente las PME y PG que están presentes en el fruto, las cuales aumentan la turbidez del jugo; por otro lado al cortar con plástico el jugo va a tener un aspecto claro translúcido y se va a conservar mayor tiempo en refrigeración preferentemente en congelación.

2. Debido a que el segundo mayor componente del limón es su cáscara externa verde llamada flavedo, sugiero que continúen realizando estudios posteriores sobre el aprovechamiento de los aceites esenciales, a partir de la cáscara del limón
3. Para un aprovechamiento del jugo de limón se recomienda el empleo de pasteurizadores al vacío o equipos de liofilización para evitar sabores y olores indeseables que se producen cuando este es ligeramente calentado.

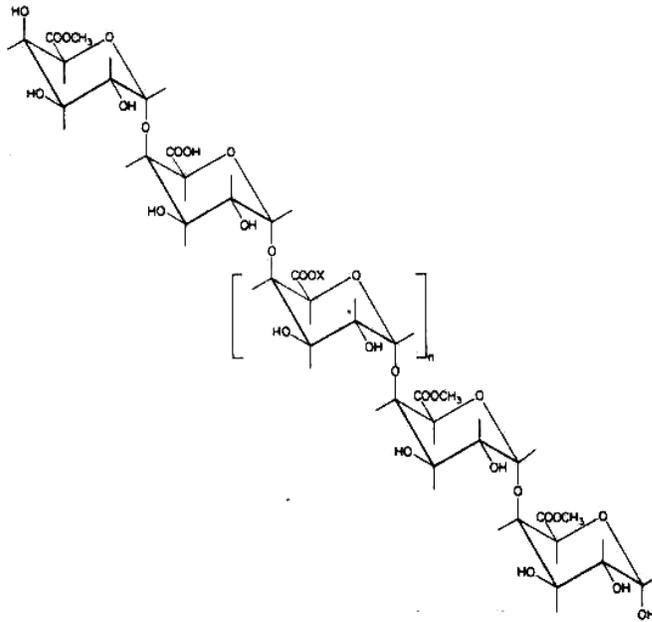
# CAPÍTULO 3

## 3. OBTENCIÓN DE PECTINA

### 3.1. Cuerpos Pécnicos

#### 3.1.1. Estructura.

Las sustancias pécnicas son polímeros formados principalmente por 600 a 1000 unidades de (1-4)- $\alpha$ -D-ácido galacturónico (forma oxidada de la D-galactosa) (9); algunos arabanos y galanos todos unidos mediante enlace glicosídico en la ubicación  $\alpha(1-4)$ . Este polisacárido, contiene grupos carboxilo como parte de la estructura de ácido galacturónico, que pueden estar protonados (COOH) a  $\text{pH} < 3$ ; en forma ionizada (COO<sup>-</sup>) a  $\text{pH} > 3$ , o esterificado como ester metílico o metoxilado (COOCH<sub>3</sub>) (2); Las sales de los ácidos pécnicos son pectatos ácidos o neutros. (Ver figura 3.1).



**FIGURA 3.1: ESTRUCTURA DE LAS PECTINAS: X PUEDE SER H O CH<sub>3</sub> Fuente (2).**

### 3.1.2. Clasificación.

#### **Protopectina.**

Es una sustancia insoluble en el agua, se encuentra en la pared celular de tejidos vegetales confiriendo rigidez al fruto. Durante la etapa de maduración, la protopectina insoluble que posee un 100% de metoxilación o GE (2); se transforma en pectina soluble al perder metoxilos, lo que con lleva a la pérdida de firmeza de los frutos; por esto, la mayor cantidad de protopectina se halla en los tejidos de frutos no maduros o

verdes, según Kertesz todos los carboxilos de las protopectinas están esterificados (6).

Esta sustancia también es llamada Pectosa o Pectina insoluble, da origen a los ácidos Pectínicos o pectina, mediante varios procedimientos como el calentamiento con agua, tratamiento con ácidos, tratamiento con agentes intercambiadores de iones o enzimas.

### **Ácidos Poligalacturonicos o Ácidos Pécnicos.**

Son cadenas formadas simplemente por la unión de ácidos galacturonicos cuyos grupos carboxílicos no se encuentran esterificados ni por el grupo metilo ( $\text{COOCH}_3$ ), ni por bases, debido a esto su GE es de 0%

### **Ácidos Pectínicos o Pectinas**

Se generan a partir de la protopectina cuando ésta ha perdido grupos metoxilo que están unidos al ácido galacturónico es decir, son ácidos poligacturónicos, que presentan algún grado de esterificación. Los ácidos Pectínicos o pectinas se dividen en 2 grupos según su esterificación de alto y bajo metoxilo (Ver figura.3.2).

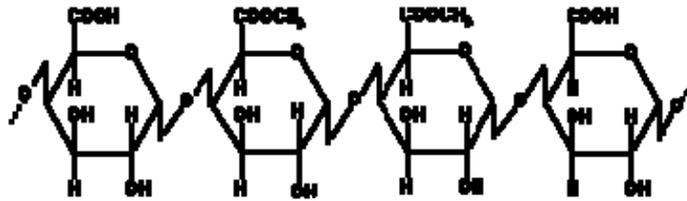


FIGURA 3.2: PECTINA DE GE 50

FUENTE ORIGINAL

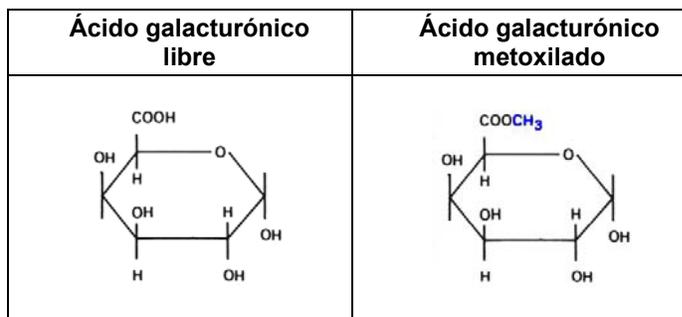
### 3.1.3. Grado de Esterificación (G.E).

Lo que diferencia a las pectinas entre si es su contenido en metoxilos llamados esteres metílicos ( $\text{COOCH}_3$ ) que es definido como el número de residuos de ácido D-galacturónico esterificado o metoxilados por el metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), sobre el total de ellos, expresado en tanto por ciento (Ver figura 3.3).

La función principal del grupo metoxílico es la formación del gel mediante su interacción con los otros componentes del medio en el cual se encuentre. Si existe carencia de este componente en la estructura del ácido galacturónico, difícilmente puede gelificar.

Debido a esto el parámetro químico más importante para el análisis de las pectinas es el grado de esterificación (GE), es decir, el número de funciones carboxilo esterificadas por 100

grupos de ácido galacturónico; esto permite distinguir dos grupos de pectinas: Pectinas fuertes metiladas o de alto metoxilo cuyo contenido esteres metílicos es superior al 55% y las pectina débilmente metiladas o bajo metoxilo con un contenido menor de ésteres metílicos alrededor del 45%. (Ver Figura 3.2)



**FIGURA. 3.3: ESTRUCTURA DE UN ÁCIDO GALACTURÓNICO (DER). ÁCIDO GALACTURÓNICO ESTERIFICADO METOXILADO (IZQ). FUENTE ORIGINAL**

### **Pectinas de alto metoxilo (HMP, High Methoxyl Pectin)**

Tienen la capacidad de formar geles en pH ácido (2.0 – 4.5), en presencia de sólidos solubles (60-65%) e incluso temperatura elevada; sufren rápidas degradaciones en medios

alcalinos. Estas pectinas producen geles más rígidos y sólidos que los de menor esterificación. (2, 9, 21).

La presencia de grupos carboxilos (que están protonados) hace que se creen puentes de hidrógeno entre si o con los oxidrilos de una molécula vecina de pectina o del disacárido. La adición de azúcar ejerce un efecto “deshidratante” sobre los polímeros, lo que coacciona que se favorezcan las interacciones polisacárido-polisacárido de manera hidrófoba y se cree una estructura tridimensional que rodea la molécula de sacarosa altamente hidratadas. Ver figura. 3.4

El grado de esterificación de esta pectina es superior al 50%, algunos autores mencionan que debe estar entre (55-80%). En el mercado se pueden encontrar 3 tipos de pectinas de HMP basadas según la rapidez de gelificación versus el porcentaje de metoxilación o esterificación de grupo carboxilo (4).

Entre mayor sea su grado de esterificación las pectinas pueden gelificar a mayores temperaturas y mas rápido.

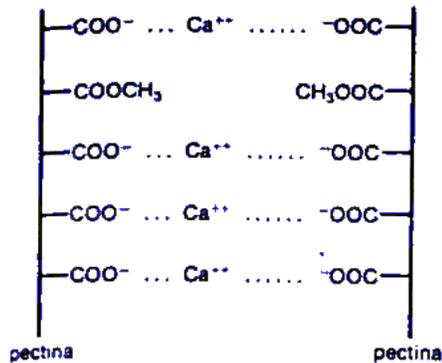
<b>Gelificación de la Pectina</b>	<b>Porcentaje de esterificación</b>
-----------------------------------	-------------------------------------



### **Pectinas de bajo metoxilo (LMP, Low Methoxyl Pectins)**

Se generan a partir de la degradación de las pectinas de alto metoxilo, por hidrólisis acida, enzimática u otro factor que reduzca la esterificación de la molécula de pectina.

Presentan una esterificación menor del 50%, algunos autores indican menor al 45%. Este porcentaje significa que si la cadena de ácido galacturónico tiene por ejemplo 100 grupos carboxílicos y solamente 50 están esterificados se dirá que es de bajo metoxilo; para gelificar requieren la presencia de iones calcio y de un pH de 2.8 a 6.5, (2, 21); ya que en estas condiciones los carboxilos se encuentran ionizados y pueden establecer uniones iónicas con otras moléculas de pectina mediante el  $\text{Ca}^{++}$ ; de esta manera se crea la estructura básica del gel, en la cual a su vez los grupos hidroxílicos de los residuos del ácido galacturónico retienen agua por medio de puentes de hidrógeno, para su gelificación no necesita sacarosa, aun cuando una pequeña cantidad ayuda a proporcionar mayor rigidez ya que favorece a la interacción carboxilo-calcio.(2);(Ver figura. 3.5)



**FIGURA 3.5: ESTRUCTURA DE LA PECTINA DE BAJO METOXILO. (2)**

Algunas veces aparecen grupos amidados en el lugar de los grupos metoxilados. Esta substitución se acentúa en los procesos industriales de desmetilación en medio amoniacal, dando lugar a pectinas amidadas". (6).

#### 3.1.4. Enzimas Pécnicas.

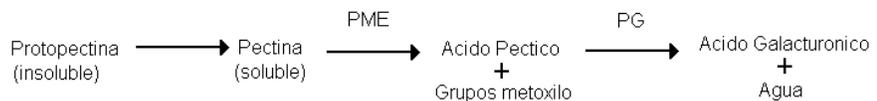
Las enzimas pécticas son aquellas que intervienen en la degradación de las pectinas hasta llevarlos a compuestos más simples, logrando con esto la pérdida de textura de los frutos y la capacidad de la pectina de formar geles; entre las mas importantes tenemos la pectin metil esterasa, la poligalacturonasa que son las que producen las mayores degradaciones durante la maduración del fruto.

### **Pectin Metil Esterasa (PME) o Pectása (EC 3.1.1.11)**

Es la enzima encargada de la degradación de la pectina, provoca desesterificación, eliminando grupos metilester, produciendo ácido Pécico o ácido D poligalacturónico y metanol. (Ver figura. 3.6)

### **Poligalacturonasa (PG, PMG)**

Rompen las cadenas pécticas hidrolizando el enlace glicosídico entre dos moléculas de ácido galacturónico, liberando una molécula de agua. Ver figura. 3.6.



**FIGURA 3.6: DEGRADACION ENZIMATICA DE LAS PECTINAS. FUENTE ORIGINAL**

#### **3.1.5. Propiedades de las Pectinas.**

La pectina es un sólido blanco o ligeramente amarillento, soluble en agua caliente hasta 2-3%; En el agua la pectina forma grumos viscosos por fuera y secos por dentro, por esta razón la pectina se mezcla siempre con azúcar, sales

amortiguadoras o se humedece con etanol antes de añadir agua.

"La pectina es un coloide reversible, puede ser disuelto en agua, precipitado, secado y redissuelto en agua sin perder sus propiedades físicas "(22).

El número de grupos metoxílicos presentes en la molécula de pectina es el poder gelificante de la misma. El máximo contenido de metoxil que alcanza a 8 grupos metoxílicos por molécula.

"El alcohol y varias sales metálicas precipitan a las pectinas, lo cual parece ser una congelación electrolítica similar a la que se produce con otros coloides al agregar determinados electrolitos." (22).

La pectina puede ser precipitada en forma de flóculos, en presencia de alcohol o acetona, los que son solubles al agua o en presencia de ciertas sales como el sulfato de aluminio sulfato de magnesio y sulfato de amonio, cuyas partículas

transportan una carga eléctrica de signo opuesto a la pectina, produciéndose una congelación electrolítica. (22).

Mediante continuas precipitaciones con soluciones de alcohol de diferentes concentraciones superiores al 60%, las pectinas pueden ser purificadas, siendo compuestas en su mayoría por ácidos Pectínicos, los cuales por hidrólisis se descomponen en grupos de ácidos Galacturónicos (93%) y alcohol metílico (12%). La suma de los porcentajes es superior al 100% porque en la conversión del grupo  $\text{COCH}_3$  a  $\text{COOH}$ , resulta con un incremento en el peso. (22).

La pectina en un medio ácido esta cargada negativamente; la adición de azúcar afecta el equilibrio pectina-agua, de tal forma que la pectina inestable se conglomera y forma una malla de fibras a través de la jalea. (22).

Esta estructura tiene la capacidad de retener agua y azúcar. La pectina debe tener un grado de esterificación adecuado, ya que siendo los grupos metilo ( $\text{CH}_3\text{-O}$ ) más hidrofóbicos que los oxidrilo ( $\text{OH}$ ), previenen al sistema del acercamiento de las moléculas del polímero (22).

La solubilidad de la pectina en agua se debe, en gran medida, a la presencia parcial de grupos carboxílicos.

Durante la formación de las jaleas, la presencia del ácido es necesaria para neutralizar los grupos  $\text{COO}^-$  que podrían provocar repulsión entre cadenas y romper estructura

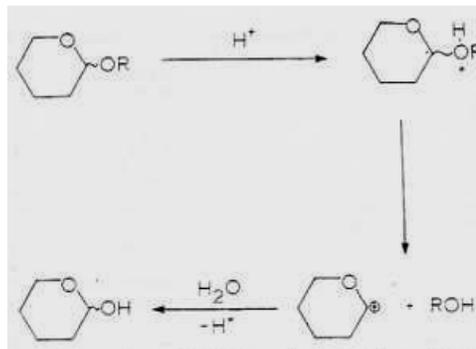
Un ácido pectínico completamente esterificado, tendría 16% de grupos metoxílicos y esto es lo que equivale al 100% de metilación. Normalmente se encuentra en la pectina un 9.5 a 11% de grupos metóxilos, siendo el mínimo necesario para conseguir una buena gelificación 8% de grupos metoxílicos (22).

Para que sea una buena pectina el rendimiento no debe ser menor que 6.7% de grupos metóxilos ( $-\text{OCH}_3$ ) y no menor que 74% de ácido galacturónico ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_7$ ), calculada sobre base seca (18).

### **3.1.6. Mecanismo Químico de Obtención de Pectinas.**

El método empleado es por hidrólisis de carbohidratos (ruptura de los enlaces glucosídicos que se ubican en la posición  $\alpha(1-4)$

formando la estructura de la pectina y se encuentra uniendo un ácido galacturónico con otro ácido galacturónico ya sea esterificado o no) que consiste en una extracción de pectina en presencia de una solución de ácidos en caliente debido a que los enlaces glicosídicos son mas rápidamente destruidos en medio ácido que alcalino en los que poseen bastante estabilidad. Durante este mecanismo de hidrólisis. (Ver figura. 3.7). El eslabón determinante de la velocidad del proceso es la pérdida de R-OH.



**FIGURA 3.7: MECANISMO DE HIDRÓLISIS CATALIZADA POR ÁCIDOS DE ALQUIL-PIRANOSIDOS. (9)**

Para su obtención “La pectina (30-40% en suspensión acuosa) es tratado con ácido clorhídrico y otro ácido fuerte (aproximadamente 0.12%), y la mezcla se calienta entre 140 – 160°C durante 15 - 20 min, o hasta que alcanza el ED

(equivalente de dextrosa: porcentaje de azúcares reductores en un jarabe de almidón, calculado como dextrosa, sobre el peso seco total.)” (9); el extracto resultante procedente de frutos cítricos es necesario flocular la pectina con etanol o precipitarla con una sal de aluminio, para purificarla y eliminar residuos u componentes amargos como por ejemplo en el limón agrio la quinina (2); posteriormente centrifugar y secar.

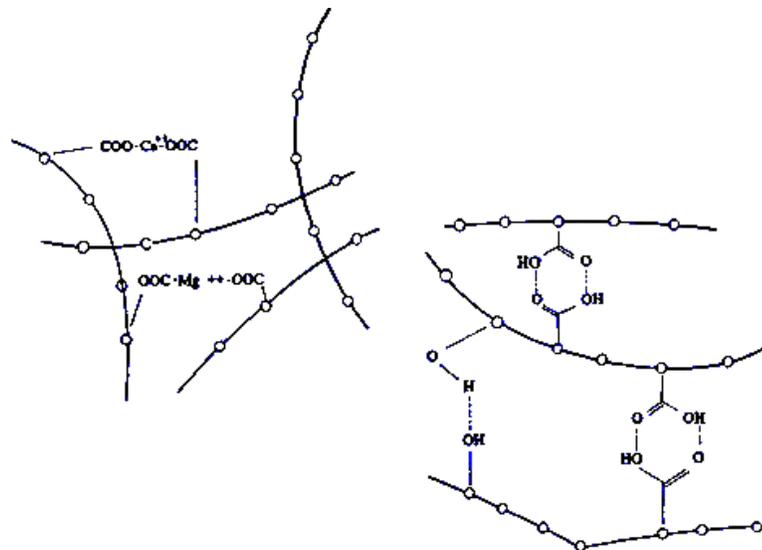
### **3.1.7. Mecanismo de Formación de Gel de Pectina.**

Una capacidad de las pectinas es la de formación de geles fuertes, esto se lleva a cabo cuando la pectina entra en solución acuosa, sus grupos carboxilo se disocian parcialmente para formar iones carboxilo con carga negativa ( $R-COO^-$ ) provocando así el aumento de la carga negativa de las moléculas y la recíproca repulsión entre ellas. Todo favorece a la disociación de la pectina. (6). (Ver figura 3.8).

La adición de azúcar y de ácido modifica completamente este cuadro. El azúcar desarrolla una acción deshidratante sobre la pectina y la lleva al límite de la solubilidad; el ácido, liberando iones hidrógeno positivos, neutraliza la acción de los iones carboxilo negativos, reduce al mínimo el aumento de la carga

eléctrica y la disociación de la pectina y favorece las uniones físicas de sus moléculas.

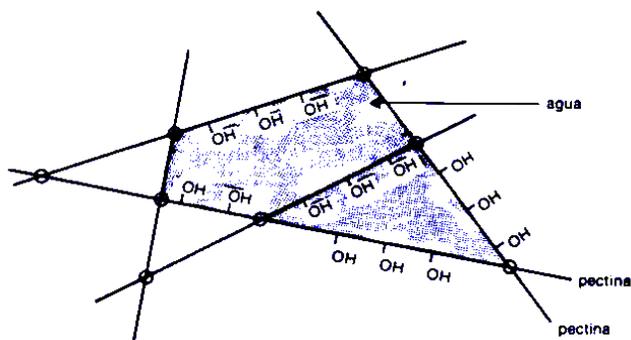
De la acción mutua entre el azúcar y del ácido sobre la pectina en solución, a temperatura suficiente para facilitar la solubilización y las uniones físicas de los componentes, nace la típica estructura reticular que, enfriándose se solidifica en forma de gel. (6).



**FIGURA. 3.8: ESTRUCTURA Y FORMACIÓN DEL GEL DE PECTINA: (IZQ) PECTINA DE BAJO METÓXILO. (DER) PECTINA DE ALTO METÓXILO (3)**

Este gel va a depender mucho del grado de esterificación de las pectinas. “Generalmente si se ajusta el pH a 2.0-3.5 y se añade sacarosa en una concentración de 60-65% se forma gel al enfriar, manteniendo sus características incluso si se calienta hasta 100°C. El hecho de ajustar el pH a 2.0-3.5 previene la ionización de los grupos carboxílicos que se encuentran ionizados a pH 7.0. La sacarosa a las altas concentraciones 60-65%, deshidrata las moléculas de pectina neutralizadas y permite la formación de puentes de hidrógeno y por lo tanto el gel” (9).

Los puentes de hidrógeno existentes pueden ser hidroxilo-hidroxilo, carboxilo-carboxilo o hidroxilo-carboxilo. (Ver figura 3.9)



**FIGURA.3.9: GELIFICACIÓN DE LAS PECTINAS:  
ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL O GEL DE PECTINAS (2)**

La Figura 3.9 muestra las uniones de la pectina y la retención del agua por la gelificación. Cuya unión (círculos) es por los mecanismos de la (figura 3.4) o (figura. 3.5). los OH del ácido galacturónico quedan libres para retener agua mediante puentes de hidrógeno. (2)

## **3.2. Materiales y Métodos**

### **3.2.1. Condiciones del Experimento.**

Se realiza la extracción de pectina a partir del limón. Posteriormente con, la pectina extraída, se analiza su humedad y contenido de sólidos.

### **3.2.2. Extracción de Pectina a Nivel de Laboratorio**

#### **Materia prima**

La materia prima utilizada es el limón Sutil de nombre científico citrus Aurantifolia Swingle, el cual debe adquirirse lo más verde posible. Para la prueba, se emplean limones con un índice de madurez del 63.37%, pH 2.44 y acidez total 0.079, Sólidos Totales 5 °Brix,

### **Preparación de la corteza seca de el Citrus Aurantifolia Swingle.**

Para iniciar el proceso se seleccionan los limones más verdes pertenecientes a la variedad Sutil, luego se procede a lavar y separar manualmente la corteza verde, pulpa y semillas de los limones, previamente pesadas. La corteza blanca (albedo y Septum) de los frutos son pesados y lavados; luego son triturados en un triturador de cocina, recuperándose inmediatamente la cáscara desmenuzada. La corteza triturada se coloca en un recipiente con agua en relación de 1:3 a una temperatura entre 95°C durante 15 min.; con el propósito de inactivar las enzimas pectinesterasas que hidrolizan los grupos estermetílicos, formando metanol y por ende, pectinas de menor metoxilo. Inactivando, también, la poligalacturonasa, que rompe los enlaces glucosídicos entre moléculas galacturónicas, despolimerizando la cadena a fracciones más cortas y, finalmente, llegando al monómero del ácido galacturónico. Se enfría rápidamente y se filtra a fin de retener los sólidos,.

A la fase sólida se le efectúa varios lavados con agua caliente a una temperatura entre 40-60°C, hasta reducir el contenido de

sólidos solubles mediante la determinación de los grados Brix. Enseguida se prensa manualmente, reteniendo el sólido. A partir del sólido retenido se extrae la pectina, en presencia de ácidos en caliente, para disociar la protopectina a pectina soluble. Para este procedimiento se utiliza el ácido clorhídrico en solución 6N con el cual se prepara agua acidulada ajustando el pH a 2.2, donde se adiciona al sólido retenido. La relación agua acidulada-corteza es 4:1. Se calienta la mezcla a una temperatura de 95°C durante 40 min. Seguidamente se filtra, empleando un lienzo., recogiendo el líquido y enfriándolo hasta 32°C, colocar en un recipiente de vidrio alto y dejar sedimentar. Separar el filtrado del sedimento. Mezclar en relación 2:1, filtrado-alcohol de 98° o alcohol potable. Recoger el coagulo formado mediante filtrado.

Colocar en un recipiente limpio y almacenar en refrigeración hasta su uso para evitar el crecimiento de microorganismos.

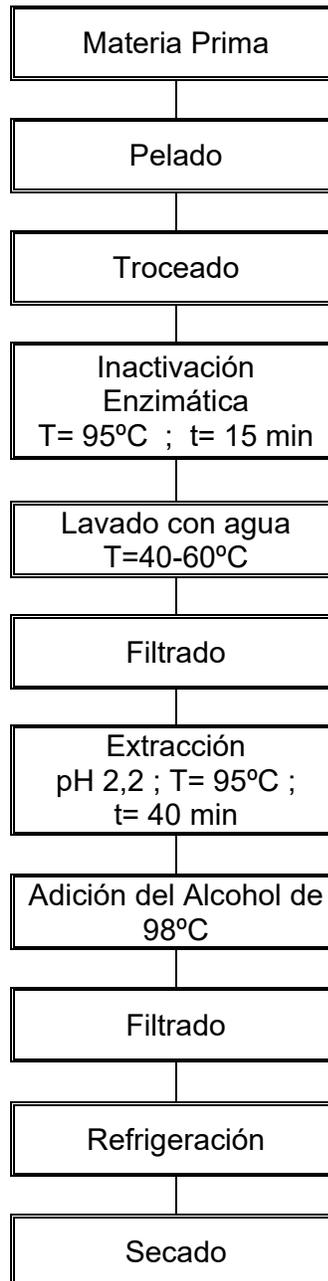
En la tabla 6 se muestra un resumen de las cantidades de diferentes reactivos añadidos durante los diferentes procesos para lograr la extracción de la pectina.

Proceso	Relación	
	Agua /muestra	Alcohol /muestra
Inactivación enzimática	3:1	-
Hidrólisis Acida	4:1	-
Adición de alcohol 98°	-	1:2

**TABLA.6: RELACIÓN DE AGUA MUESTRA, ALCOHOL MUESTRA A SER AÑADIDO EN LOS DIFERENTES PROCESO DURANTE LA EXTRACCIÓN DE LA PECTINA.**

La descripción del proceso de extracción de la pectina se observa en la tabla 7, que emplea un diagrama de bloques

**TABLA 7: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LA EXTRACCIÓN DE LA PECTINA CÍTRICA.**



### **3.2.3. Métodos de Análisis**

#### **Adición de alcohol.**

Para determinar la cantidad de alcohol necesaria se debe considerar su grado de alcohol y cantidad de pectina en solución.

En una probeta graduada de 10 ml se coloca 1 ml de alcohol de 98°, luego se adiciona gota a gota la pectina líquida en solución hasta observar que ya no quede alcohol en la probeta. Si es necesario se agita hasta formar un coágulo. Anote el consumo de pectina y realice los cálculos.

### **3.3. Análisis de Resultados**

A partir del limón, se obtiene un rendimiento del 37.44% de materia con contenido pectínico correspondiente al albedo y septum, de este un 80.98% es albedo y 19.04% septum y eje. Este 37.44% será la materia prima que será sometida a procesos e hidrólisis ácida en caliente para la extracción de la pectina.

En las pruebas de alcohol, se determina que se necesita para 1 ml de alcohol para gelificar 2 ml de pectina. Esto se da si se mantiene las condiciones de extracción enunciadas anteriormente (3.1.6) para reproducción de la muestra y reactivos.

<b>RENDIMIENTO</b>	
Pectina líquida versus pectina en gel	78.53%
Gel versus s pectina seca	3.00%
Pectina seca versus cáscaras blancas del limón	6.14%
Pectina total con respecto al total de limón	2.30%

**TABLA 8: RENDIMIENTOS DE LA PECTINA EXTRAÍDA FRENTE A DIFERENTES ETAPAS DE EXTRACCIÓN DE PECTINA.**

En la tabla 8, se muestran los resultados obtenidos de los diferentes rendimientos de la pectina extraída. En general de un limón el 2.3% lo constituye la pectina. Su rendimiento de secado es realmente bajo cuando pasa de gel a pectina seca, con un 3% aproximadamente.

### **3.4. Conclusiones y Recomendaciones**

#### **Conclusiones**

1. Entre más verdes y frescos sean los limones su contenido de pectina metoxilada será mayor, esto se comprueba visualmente durante la coagulación con el alcohol y por la prueba de metoxilación realizada.
2. A medida que la esterificación de la molécula aumenta, también aumenta su insolubilidad, para que esta se solubilice es necesaria la presencia de factores externos como calor para causar una hidrólisis de los esteres metílicos y lograr solubilizar la molécula en medio acuoso.
3. El rendimiento que se obtuvo de la pectina seca para un limón es del 2.3% aproximadamente

#### **Recomendaciones**

1. Lo ideal es conservar una buena relación agua-pectina. Hay que adicionar, durante la fase de extracción con el ácido en caliente, la suficiente agua procurando mantener la relación 4:1 de agua-cascara. Así se obtiene un rendimiento óptimo de pectina disuelta

en agua. De este modo, al adicionar el alcohol a la solución éste no tenderá a diluirse por la presencia de agua. Caso contrario, si no se respeta la relación y se adiciona más agua, la pectina quedará más disuelta en el agua y al adicionar el alcohol en la solución éste se reducirá su concentración y no formará un coágulo lo suficientemente fuerte para ser extraído. Por lo contrario, formará pequeños coágulos difíciles de extraer y se necesitará mucho más alcohol para lograr formar un coágulo manejable.

2. De los hollejos no se obtiene una cantidad significativa de pectina aprovechable a nivel de laboratorio, pero se recomienda su empleo industrial cuando se trabaja con volúmenes de producción, ya que la pectina extraída de los hollejos será muy significativa. Por lo tanto conviene adicionar los hollejos durante la etapa de inactivación enzimática previamente extraído el jugo y lavadas adecuadamente.

# CAPÍTULO 4

## 4. EFECTO DEL PROCESO DE SECADO SOBRE LA PECTINA

### 4.1. Marco Teórico

#### 4.1.1. Conceptos básicos.

**Actividad de Agua.  $a_w$ :** La actividad de agua es la tendencia del agua a escapar de un sistema.

Definido por la relación entre la presión de vapor del agua de un material ( $p$ ) versus la presión de vapor del agua pura ( $p_o$ ) a la misma temperatura.

$$a_w = p/p_o = \text{HR} (\%) / 100$$

**Humedad Relativa:** La humedad relativa del aire es la razón entre la presión de vapor del aire y su presión de vapor en la saturación.

$$HR\% = a_w \cdot 100 = \frac{P}{P_o} \cdot 100$$

**Humedad Relativa versus actividad de Agua:** La humedad relativa y la actividad de agua están relacionadas. La actividad de agua se refiere a la disponibilidad de agua en el alimento y la humedad relativa se refiere a la disponibilidad de agua en la atmósfera alrededor del alimento.

$$HR\% = a_w \times 100$$

**Humedad en equilibrio  $x^*$ ,** Se da cuando la humedad del alimento ( $a_w$ ), es igual a la humedad del vapor del aire (HR%). Es decir, cuando la humedad del sólido está en equilibrio con el gas. Si el material contiene más humedad que el equilibrio en contacto con el gas (aire) a una humedad relativa y temperatura determinada, este se secará. Por lo contrario, si el material tiene menos humedad que el equilibrio, este ganara humedad hasta llegar al equilibrio con el medio. Se lo expresa

como humedad en base seca Kg. de agua/100kg de sólido seco.

**Humedad libre  $X = x_t - x^*$** : Según Geankopolis, el contenido de humedad libre de una muestra es la humedad por encima del contenido de humedad de equilibrio. Esta humedad se puede eliminar por secado con las condiciones dadas de humedad relativa. Esta humedad se expresa como porcentaje de humedad en base seca. Es exactamente igual al valor de Kg. de agua/100kg de material seco multiplicado por 100. (12).

**Humedad en base seca.:** La ganancia de humedad de las muestras se transforma a humedad en base seca, y como la actividad de agua de la solución saturada es conocida, obtenemos el primer punto para graficarlo en la isoterma. La fórmula para transformar el porcentaje de humedad en humedad en base seca es la siguiente:

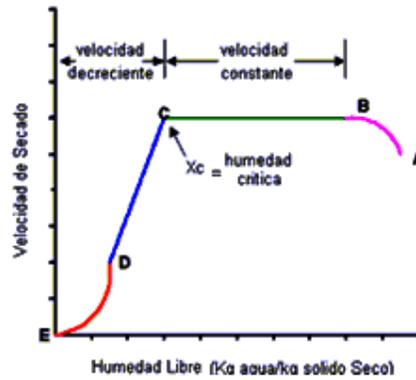
$$MCDB \approx \frac{g H_2O}{g \text{ desólido}} \approx \frac{(\% H_2O)}{100 - (\% H_2O)}$$

Donde:

MCDB = contenido de humedad en base seca

(% H<sub>2</sub>O) = contenido de humedad en base húmeda

#### 4.1.2. Interpretación de las curvas de velocidad de secado.



**FIGURA. 4.1: ETAPAS DE LA CURVA DE SECADO (12)**

Al inicio (AB) el producto experimenta un pequeño aumento de temperatura debido a que el sólido se encuentra a una temperatura inferior, y la velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto (B), la velocidad de remoción de agua y la pendiente se vuelven constantes (BC), con el producto a la temperatura de bulbo húmedo del aire. En esta etapa, la velocidad de secado está limitada por la tasa de transferencia de calor desde el aire a la superficie líquida. Cuando se alcanza el contenido de humedad crítico (C) la velocidad de secado es decreciente (CD). Puede existir un segundo período de velocidad decreciente (DE) en donde la humedad relativa de equilibrio para el material es menor del

100% ( $a_w < 1$ ). La velocidad de secado decreciente es controlada por la difusión de humedad hacia la superficie. En el punto E se alcanza el contenido de humedad de equilibrio y el producto deja de perder humedad.

#### 4.1.3. Isoterma de Adsorción y Desorción.

Es una valiosa herramienta para poder predecir los cambios en la estabilidad de los alimentos. Una isoterma de adsorción (o desorción) es la curva que indica para el equilibrio y para una temperatura determinada la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa de la atmósfera que le rodea. (5).

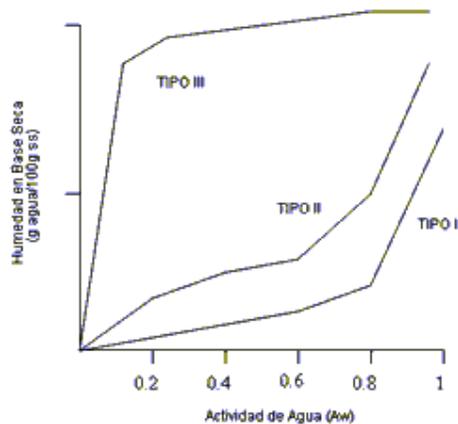


FIGURA. 4.2: TIPOS DE ISOTERMAS (14)

No todas las isotermas presentan el mismo comportamiento, este va a depender de la captación de agua, y son de tres tipos. (Ver figura. 4.2)

**Isoterma tipo I:** Característica de los agentes humectantes (alimentos muy solubles), muestra una mínima ganancia de humedad hasta que la actividad de agua llega a 0.7 - 0.8 en donde sube en gran medida (5) como ejemplo el fondant, café, el azúcar el cual capta agua en su estructura cristalina (en la curva se presenta un ligero aumento) hasta que se satura rompiendo su estructura y presentando una ganancia de agua notable. (Ver figura. 4.2)

**Isoterma tipo II:** De forma sigmoideal es el tipo mas frecuente de isoterma en alimentos, para sustancias que tienen gran cantidad de almidones en su estructura. (Ver figura. 4.2).

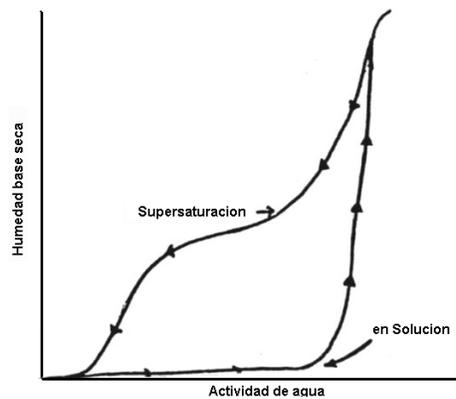
**Isoterma tipo III:** Propia de los agentes antiapelmazantes los cuales poseen enlaces muy fuertes, por lo tanto captan humedad sin aumentar la actividad de agua, hasta llegar a un punto donde ya no pueden retener más agua por lo que incrementa la actividad de agua rápidamente. (Ver figura. 4.2)

#### 4.1.3.1. Histéresis

Se produce este fenómeno cuando la curva de desorción no sigue el mismo camino que la curva de adsorción (Ver figura 4.3)

Adsorción cuando el producto seco ( $a_w=0$ ) capta humedad. Desorción cuando el producto húmedo ( $a_w=1$ ) elimina humedad.

Se produce diferencia porque los capilares de la zona 3 se encuentran vacíos durante la desorción, por lo tanto la superficie de los poros podrá captar mayor cantidad de agua internamente. (14)

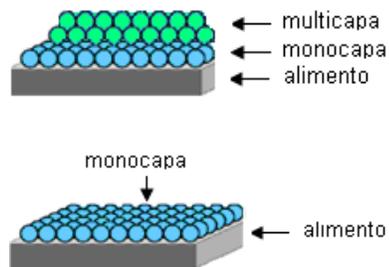


**FIGURA 4.3: DIAGRAMA DE HISTERESIS (14)**

#### 4.1.4. Monocapa de BET (Brunauer – Emmett – Teller).

La ecuación de la isoterma de BET permite determinar el valor de monocapa o de mayor estabilidad, en una actividad de agua comprendida entre los 0.2-0.4, por esto que el valor de la monocapa de BET puede ser considerado como un contenido de humedad crítico o valor crítico de actividad de agua. (14).

**Monocapa:** es el contenido de humedad que forma la primera capa de agua en contacto con las moléculas del alimento y que el valor de la monocapa está íntimamente relacionado con la estabilidad de los mismos, es decir, mientras mayor es el contenido de la monocapa mayor es la estabilidad del producto ya que puede adsorber mayor cantidad de agua hasta formar la primera capa en contacto con el alimento. (25)



**FIGURA 4.4: ESQUEMA DE MONOCAPA EN EL ALIMENTO**

**FUENTE ORIGINAL**

#### 4.1.5. GAB (Guggenheim, Anderson y de Boer)

Es un modelo matemático para la curva desorción, siendo el más preciso respecto a los datos experimentales de un amplio número de alimentos. “El modelo de GAB requiere de al menos cinco datos experimentales para un ajuste muy bueno hasta valores de 0.94 de  $a_w$ “(8). La expresión matemática del GAB es:

$$X_T = \frac{X_m CkA_w}{(1 - kA_w)(1 - kA_w + CkA_w)}$$

De la que se define:

$$\beta = \frac{1}{X_m (Ck)^2} \quad ; \quad \alpha = \frac{1}{CkX_m} - \frac{2}{C^2 kX_m} \quad ; \quad \sigma = \frac{1}{CX_m}$$

“Disponiendo de datos experimentales una regresión polinomial de  $1/X_T$  vs  $1/a_w$  permite encontrar los valores de  $X_m$ ,  $C$  y  $k$ . La primera de estas constantes es el contenido de humedad correspondiente a la presencia de agua en forma de monocapa sobre las moléculas de soluto.  $C$  y  $k$  son factores de acomodación entrópica;  $C$  es una constante que depende de la

temperatura, relacionada con el calor de adsorción del agua en las partículas de soluto" (8).

Durante el secado la humedad libre, en función de la humedad ( $X_T$ ) y humedad de equilibrio ( $X^*$ ) que alcanza un material cuando se expone a una corriente de aire de humedad relativa conocida por un tiempo muy prolongado se define como:

$$X = X_T - X^*$$

## **4.2. Materiales y Métodos**

### **4.2.1. Condiciones del Experimento**

Con la pectina en forma de gel obtenida de la extracción enunciada en el capítulo anterior, se determinará su humedad inicial y se colocará la muestra para la construcción de la isoterma de desorción. El resto de la pectina en gel debe someterse al proceso de secado empleando dos temperaturas una baja 50°C y una alta 70°C e inmediatamente se coloca la muestra, en recipientes previamente preparado para la construcción de las isotermas. Con el resto de la muestra se debe triturar y almacenar en recipientes herméticos de vidrio para evitar que el producto capte humedad. Posteriormente se

les determina la Capacidad de hinchamiento, Viscosidad, Grado de metoxilación, Ácido Galacturónico.

#### **4.2.2. Determinación de Grupos Metoxílicos y Ácido Galacturónico**

**Determinación de Grupos Metoxílicos.:** Se transfiere 5.00 gramos de pectina a un vaso de precipitación adecuado y revolver por 10 minutos con una mezcla de 5 ml de ácido Clorhídrico y 100 ml de alcohol al 60 por ciento. Transferir a un embudo de Buchner (30-60ml), y lavar con seis porciones de 15 ml de la solución de ácido clorhídrico y el alcohol al 60%. Finalmente, lavar con 20 ml de alcohol, secar por 1 hora a 40.5°C (105°F), enfriar y pesar. Transferir exactamente un décimo del total del peso neto de la muestra seca (representando 500 mg de la muestra original no lavada) a una fiola de 250 ml y mezclar con 2 ml de alcohol. Adicionar 100 ml agua libre de dióxido de carbono, insertar el tapón, y agitar hasta que la pectina este completamente disuelta. Adicionar 5 gotas del indicador fenolftaleína, titular con Hidróxido de Sodio 0.5N, y registrar como titulación inicial. Adicionar 20.0 ml de Hidróxido de Sodio 0.5N, insertar el tapón y agitar

vigorosamente, se deja reposar durante 15 minutos. Adicionar 20.0 ml de ácido Clorhídrico 0.5N y agitar bien sin tapón hasta que el color rosa desaparezca. Adicionar fenolftaleína, y titular con Hidróxido de sodio 0.5N, hasta que un ligero color rosa persista después de una agitación vigorosa, se registra este valor como titulación de saponificación. Cada mililitro de hidróxido de sodio 0.5N consumido en la titulación de Saponificación es equivalente a 15.22mg de  $-OCH_3$

**Determinación de Ácido Galacturónico:** Cada mililitro consumido de hidróxido de sodio 0.5N, en la titulación de la determinación de grupos metoxilo, es equivalente a 97.07 mg de  $C_6H_{10}O_7$

#### **4.2.3. Elaboración de Isotermas de Adsorción**

Las isotermas se realizaron a una temperatura constante de 32°C, colocándolas en una incubadora y por duplicado. Se emplea el método isopiéstico que consiste en dejar en equilibrio una masa conocida de muestra; utilizando un recipiente cerrado herméticamente y el uso de soluciones saturadas con actividad de agua conocida (Ver tabla 9), las

cuales generan una micro atmósfera estable. Este método esta descrito en tesis preliminares (5)



**FIGURA 4.5: INCUBACIÓN DE LAS CAJAS CON LAS ISOTERMAS A TEMPERATURA CONSTANTE 32°C**

**FUENTE ORIGINAL**

La tabla inferior muestra las sales empleadas, todas son químicamente puras y tienen un valor de actividad de agua preestablecido.

<b>Sales</b>	<b>Actividad de agua a 32°C</b>
Nitrato de Potasio	0.9231
Cloruro de Potasio	0.8362
Nitrato de Sodio	0.7314
Cloruro de Magnesio	0.3244
Hidróxido de Sodio	0.0758

**TABLA 9: SALES EMPLEADAS Y SU ACTIVIDAD DE AGUA**

Con los datos obtenidos, se procede a realizar el cálculo de la base seca y estos deben ser ingresados en el programa de actividad de agua elaborado por Teodoro Labuza, para elaborar las isotermas (15).

#### **4.2.4. Curvas de Secado a Temperaturas de 50 y 70°C**

Este experimento se realiza empleando un secador o horno de convección con temperatura constante y ventilación forzada tomando los datos de temperatura y humedad del aire de entrada al secador para ello se utiliza un termohigrómetro digital. Luego sobre una rejilla de plástico se coloca la muestra y cada 5 minutos, se registra su peso hasta que el peso de la muestra sea constante. Subsiguientemente, se elaboraran las curvas de secado según el procedimiento descrito en el texto de Geankopolis (12).



**FIGURA. 4.6: SECADO DE PECTINA DE IZQ A DER  
SECADOR, PECTINA HUMEDA, PECTINA SECA.**

#### 4.2.5. Capacidad de Hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento indica el potencial del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua en el caso de pectina formar el gel. Para esta prueba se analiza dos factores, la capacidad de hinchamiento de la pectina y el efecto de las muestras de pectina sobre una base estándar de mermelada evaluando ésta mediante la viscosidad del gel formado. (Ver figura 4.7)

Para la capacidad de hinchamiento, se determina colocando protopectina en una probeta de 10 ml de capacidad de manera tal de completar 1 ml de volumen de sólido y registrando su peso. Luego se agrega un exceso de buffer citrato 20 mM (pH 2.0) y se determina el volumen del sólido luego de 24 Horas de incubación a 25°C en reposo. La CH se determina con la siguiente formula

$$CH = [V_f \text{ (ml)} - V_o \text{ (ml)}] / \text{peso de la muestra (g)}$$

V<sub>f</sub>: Volumen final del sólido.

V<sub>o</sub>: Volumen inicial.



**FIGURA 4.7 CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO EN PROBETA  
EFECTO DE LA SAL DE CITRATO A PH ÁCIDO SOBRE LA  
PECTINA. FUENTE ORIGINAL**

Para el análisis de la formación de gel, se prepara 500 ml de jarabe de sacarosa a 65 Brix a pH 2.5. Esta solución se la lleva al calor para la disolución de los azúcares y se le adiciona 2 gramos de pectina. A continuación se prepara un jarabe por cada muestra, se deja enfriar para que gelifique; luego, se determina la viscosidad a la muestra utilizando el viscosímetro rotacional Brookfield; empleando el rotor número 6. (Ver figura 4.8)



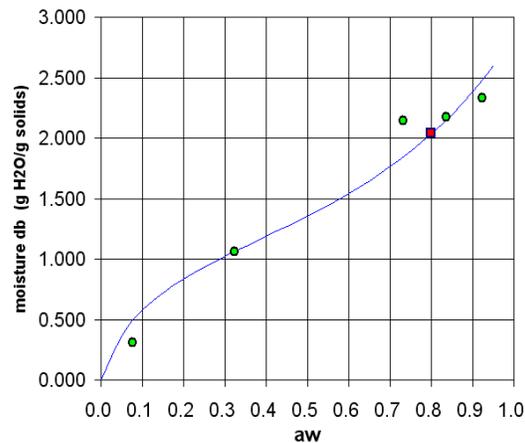
**FIGURA 4.8: VISCOSIMETRO ROTACIONAL CON LA  
MUESTRA DE PECTINA EN LA BASE DE JARABE  
GELIFICADO.**

### 4.3. Análisis de Resultados

#### Isotermas de adsorción

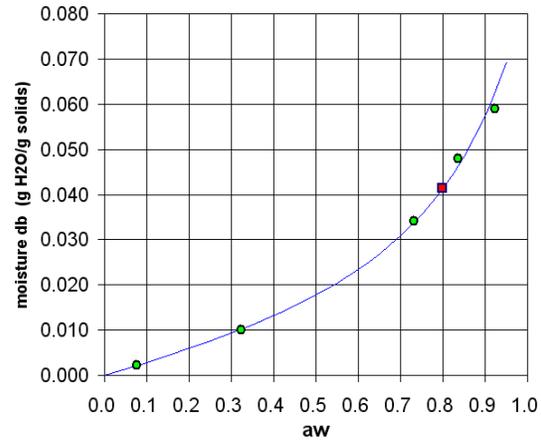
Las isotermas son necesarias para el cálculo de la monocapa; esta va a indicar el contenido de agua ligada a la pectina y la estabilidad de la misma. Por esta razón, se realizaron las isotermas de adsorción (a partir de una muestra seca a 50°C y 70°C) y desorción de una muestra húmeda en estado de gel, utilizando el Software Water Analyser, que construye la isoterma y la ajusta al modelo de GAB.

Las figuras 4.9, 4.10, 4.11 muestran las isotermas, de las muestras analizadas obtenidas por el modelo de GAB.



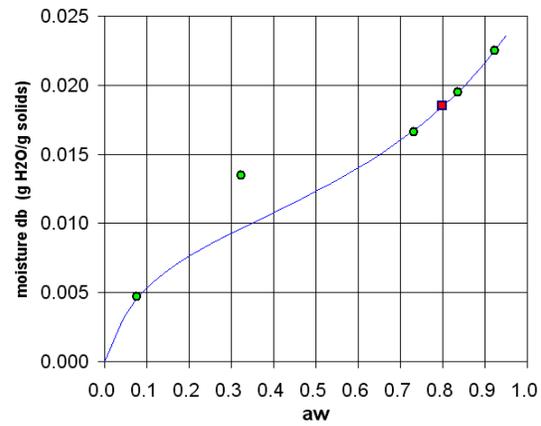
**FIGURA 4.9: ISOTERMA DE LA PECTINA EN GEL A 32°C**

**MONOCAPA: 1.036 gH<sub>2</sub>O/gSS**



**FIGURA 4.10: ISOTERMA DE PECTINA SECA A 50°C**

**MONOCAPA: 0.0130 gH<sub>2</sub>O/gSS**



**FIGURA. 4.11: ISOTERMA DE PECTINA SECA A 70°C**

**MONOCAPA: 0.0094 gH<sub>2</sub>O/gSS**

En la tabla 10 muestra los valores de la monocapa respectivos obtenidos por el modelo de BET.

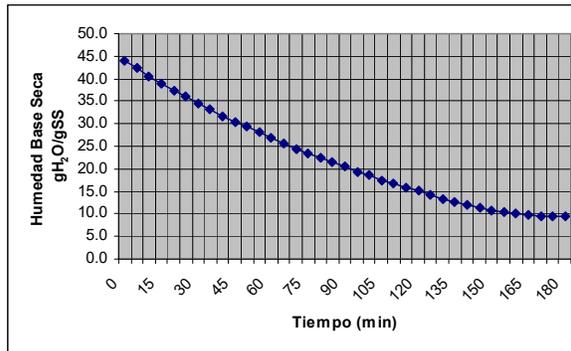
<b>TEMPERATURAS</b>	<b>MONOCAPA gH<sub>2</sub>O/g SS</b>	<b>Aw de la Monocapa</b>
Pectina en gel	1.0362	0.31
Seca a 50°C	0.0130	0.4
Seca a 70°C	0.0094	0.3

**TABLA 10: MONOCAPA OBTENIDA POR EL METODO DE BET Y SU ACTIVIDAD DE AGUA CORRESPONDIENTE.**

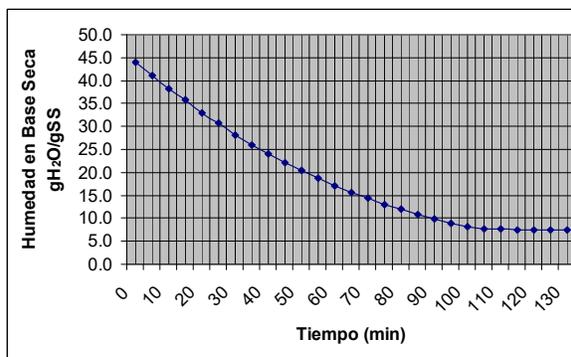
Comparando los resultados, la muestra expuesta a un secado a 50°C, posee un valor de monocapa superior que la de 70°C. Esto indica, que la muestra seca a menor temperatura posee mayor cantidad de agua ligada a la estructura de la pectina que la de 70°C y que la muestra con mayor contenido de agua va a ser más al ambiente.

### **Curvas de Secado**

Las muestras de pectina iniciaron con una humedad de 44gH<sub>2</sub>O/gSS en base seca. Después de secar la pectina a 50°C por un tiempo de 3 horas, se llega a una humedad de 9.5gH<sub>2</sub>O/gSS; mientras que a 70°C por 2 horas se llega a una humedad final de 7.5gH<sub>2</sub>O/gSS



**FIGURA 4.12: CURVAS DE SECADO: HUMEDAD VERSUS TIEMPO A 50°C**



**FIGURA 4.13: CURVAS DE SECADO: HUMEDAD VERSUS TIEMPO A 70°C**

De las curvas de humedad versus tiempo, se observa una pérdida gradual de agua y no se observa una zona estacionaria, esto se debe a que la muestra inicialmente posee alcohol, el cual es muy volátil, lo que explica ese comportamiento.

## Grado de Esterificación

APLICACIÓN DE CALOR	MUESTRAS	Ac. Galacturónico		Metoxilos	
		Mg	%	Mg	%
Directo	50°C	262.1	64.5	7.8	19.1
	70°C	281.5	69.0	4.7	11.4
Baño térmico 5 min.	50°C	-	41.1	-	66.2
	70°C	-	43.0	-	46.6
No se aplica	Pectina Comprada	184.4	61.0	3.1	10.3

**TABLA 11.: EFECTO DEL CALOR EXTERNO APLICADO SOBRE LAS MUESTRAS, DONDE SE ANALIZA CONTENIDO DE METOXILO Y ÁCIDO GALACTURÓNICO**

Durante la aplicación de calor en el secado del gel de pectina, va a existir una hidrólisis ácida favorecida por el pH (3) del gel y la temperatura aplicada. A mayor temperatura, la degradación va a ir en aumento. De los ensayos de metoxilación se comprueba que la pectina sometida a mayores temperaturas (70°C) tiene un mayor decrecimiento de los grupos metoxílicos, que aquella que fue secada a 50°C. Este resultado se corrobora con los resultados obtenidos de la prueba de viscosidad, que indican una mayor gelificación en muestra de pectina sometida a menores temperaturas de secado.

La pectina comprada fue la única que se disolvió en medio acuoso a 32°C en presencia de alcohol-agua para la prueba de grado de esterificación, indicando una reducida concentración de metoxilos ya que entre mayor sea su grado de esterificación mas insoluble es. Por otra parte las muestras de 50°C y 70°C no se disolvieron y se les debió aplicar calor externo para su disolución lo que conlleva a una pérdida de metoxilos por lo que para obtener resultados se probó empleando calor directo e indirecto como baños María. Por lo tanto esta prueba no refleja un resultado exacto y verdadero; Debido a que no si no se aplicara calor el resultado de estas seria muy superior a los expuestos.

### **Capacidad de Hinchamiento**

La tabla 12 muestra el hinchamiento de la pectina donde la muestra de 70°C, registra valores superiores que la muestra de 50°C.

<b>Muestras</b>	<b>Capacidad de Hinchamiento CH</b>
50°C	5.1
70°C	6.1

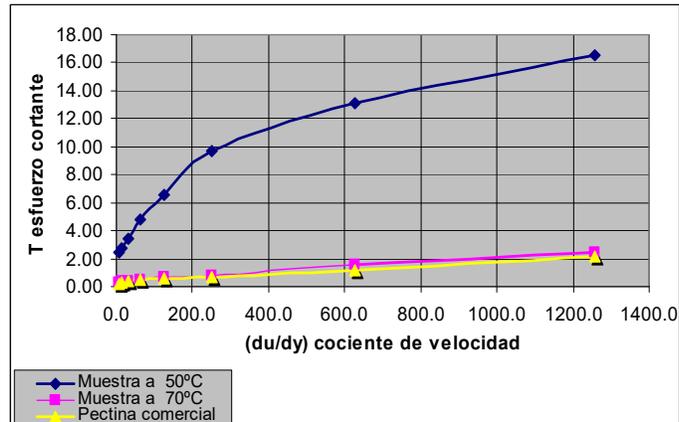
**TABLA 12: CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS SECAS A 50°C Y 70°C.**

Al observar y comparar los resultados de las tablas 10 y 12 se aprecia que el aumento de la capacidad de hinchamiento de la muestra de 70°C, esta dada por la poca cantidad agua restante contenida en su monocapa, indicando mayor captación de agua que su contraparte la muestra de 50°C la cual contiene más agua en su monocapa, producción de un mayor hinchamiento.

Se puede establecer una relación entre la capacidad de hinchamiento (tabla 12) y los resultados de Grado de Esterificación (tabla 11), donde se observa que en ambos caso el acido galacturónico se encuentra en mayor proporción para la muestra de menor contenido metoxilico (70°C).

### **Viscosidad**

En el análisis de viscosidad, mostrado (figura 4.14), se observa claramente que al aumentar la velocidad de rotación del rotor del viscosímetro, la muestra de 50°C presenta el mayor esfuerzo de corte o resistencia. Este resultado también es observado en la tabla 13, siendo la muestra de 50°C la que posee mayor valor de viscosidad.



**FIGURA.4.14: ESFUERZO CORTANTE VS. EL GRADIENTE DE VELOCIDAD DE LAS DIFERENTES MUESTRAS DE PECTINA.**

VISCOSIDAD (Centipoise)		
50°C	70°C	pectina comprada
1789.9	181.3	176.4

**TABLA 13.: VISCOSIDADES PERTENECIENTES A LA PECTINA DE 50°C, 70°C Y PECTINA COMERCIAL**

Analizando los resultados del grado de metoxilación, se obtuvo que existe una mayor proporción de metoxilos en la muestra de 50°C que en la de 70°C. Comparando estos resultados con los obtenidos de las pruebas de viscosidad, se ratifica que el metoxilo es el encargado de la gelificación, mientras que el ácido galacturónico aumenta el tamaño molecular de la pectina.

#### 4.4. Conclusiones y Recomendaciones

##### Conclusiones

1. La temperatura es un factor que va a afectar el grado de esterificación de la pectina, reduciendo su contenido agua ligada y de metoxilos. Experimentalmente se pudo observar que a medida que se incrementa la temperatura durante el secado se produce una mayor degradación de la pectina. Esta degradación se debe a la ruptura de los enlaces que produce una separación del grupo oxidrilo del agua con el metoxilo. Al separarse el grupo oxidrilo se une con el hidrógeno (protón) del medio formando agua. Al quedar el grupo metoxilo sin el agua ligada este queda expuesto y es fácilmente hidrolizable dando como lugar a la desesterificación de la molécula con la consecuente formación del anión carboxilo y el catión metilo. El catión metilo se une a los oxidrilos de medio líquido y por ionización forman el metanol o etanol, los cuales son altamente volátiles.
2. Debido a la evaporación de agua y metanol en las curvas de secado no se presenta la etapa de velocidad constante de secado de agua.

3. A medida que la pectina posea menos esteres metílicos unidos al ácido galacturónico, la solubilidad de la molécula de pectina en un medio acuoso aumenta. Mediante la aplicación de calor se reduce los esteres metílicos logrando la solubilización de pectina en el medio acuoso
4. El método de calentamiento en la disolución de la pectina afecta el grado de esterificación rompiendo enlaces y reduciendo el contenido de metoxilos. El uso del baño María genera menos destrucción que el uso de un calor directo.
5. La hidrólisis, ayuda a extraer la pectina y al mismo tiempo reduce su calidad causando la ruptura del enlace entre el carboxilo y el metilo.
6. La mayor o menor presencia de agua ligada en la pectina parece influir de algún modo en la presencia de los grupos metoxilo; mostrando que al existir una mayor cantidad agua ligada al metoxilo, la pectina será más estable. Mientras que con una menor cantidad de agua ligada al metoxilo, este se desestabiliza siendo fácilmente destruido, reduciendo su proporción en la molécula lo que ocasiona una posterior pérdida de gelificación.

7. La función del agua ligada al grupo metoxilo de la pectina es impedir la hidrólisis inmediata del enlace carboxilo-metoxilo, protegiendo a la pectina de desesterificación. Además va a generar más puentes de hidrógeno, necesarios para formar más uniones con otras moléculas logrando una gelificación fuerte.

### **Recomendaciones**

1. No emplear temperaturas altas durante el secado de la pectina, estas reduce el contenido de esterres o metoxilos necesarios para una buena gelificación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos

Enlace:

<http://www.monografias.com/trabajos15/operación-secado/operacion-secado.shtml>

2. BADUI, SALVADOR, Química de los Alimentos. Editorial Alambra Mexicana, Mexico D.F, Mexico.

3. BIBLIOTECA DIGITAL DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, Polisacáridos Heterogéneos.

Enlace

[http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/apbot-farm2c/montesm02/06.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apbot-farm2c/montesm02/06.html)

4. CAMACHO GUILLERMO, Obtención de Mermeladas. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA.

Enlace:

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obmerm/p3.htm>

5. COLOMA JOSE LUIS, "Determinación de Permeabilidad Máxima Permitida para el Empaque de Café Industrializado" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005)

6. CONTRERAS JUAN CARLOS, "Purificación y Caracterización de Poligalacturonasas de *Aspergillus Kawachii*". Tesis, Facultad de ciencias Exactas Universidad Nacional de la Plata. Argentina. 2003)

Enlace:

<http://www.cindefi.com.ar/Purificacion%20y%20caracterizacion%20de%20enzimas%20solubilizadoras%20de%20pectina%20de%20Aspergillus%20kawachii.pdf>

7. CRUZ JOSÉ MANUEL, VELASCO BLANCA, Obtención De La Pectina A Partir De La Cáscara De La Naranja, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

Enlace:

<http://hosting.udlap.mx/profesores/miguela.mendez/alephzero/archivo/historico/az32/art1.htm>

8. ECCEHOMO. DELGADO, CARLOS ORREGO, Isotermas de sorcion y Secado de Pectinas de Café. REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 34, No. 2, Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia 2002  
Enlace  
[http://calima.univalle.edu.co/revista/vol34\\_2/articulos/pdf/3402541.pdf](http://calima.univalle.edu.co/revista/vol34_2/articulos/pdf/3402541.pdf)
  
9. FENNEMA. OWEN, Química de los Alimentos. Segunda Edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España. Pág.102-106, 141-143
  
10. FOOD SOURCE, Water Activity.  
Enlace:  
[http://www.foodtechsource.com/rcenter/tech\\_data/td\\_water.htm](http://www.foodtechsource.com/rcenter/tech_data/td_water.htm) domingo  
27 de abril 2008
  
11. GARCIA RICARDO, "Secado". Facultad de ciencias y Humanidades universidad del Valle de Guatemala.  
Enlace:  
<http://www.ramirez.8m.net/a/investigaciones/Secado%2520de%2520alimentos.htm>
  
12. GEANKOPOLIS, C, Procesos de Transporte y operaciones unitarias, Tercera Edición, Editorial CECSA, México, 1998, Pág. 585-601

13. KIRK R. S R. SAWYER. HEGAN, Composición y análisis de alimentos de Pearson, Segunda Edición, Editorial CECSA, México, 2004
14. LABUZA, THEODORE P, Moisture sorption: practical aspects of isotherms measurement and use. Published by the association of Cereal Chemists St Paul, Minnesota.
15. LABUZA, THEODORE P, Water Analyser series. Webbtech. University of Minnesota 2008
- Enlace del software:
- <http://www.users.bigpond.com/webbtech/wateran.html#Isotherm>
16. LEES, R. Análisis de Alimentos, Métodos analíticos y control de calidad. Editorial Acribia, Zaragoza España, Segunda Edición. 1999
17. MARIN B, EDUARDO, LEMUS M, ROBERTO, FLORES M, VERÓNICA et al. "The Rehydration Of Dehydrated Foods" Rev. Chile. nutr. [online]. Dec. 2006, vol.33, no.3 [cited 27 April 2008], p.527-538.
- Enlace:
- [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182006000500009&Ing=en&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182006000500009&Ing=en&nrm=iso)

18. NACIONAL FORMULARY USA 25 - United States Pharmacology, Edición  
30 mayo 1, 2007. Pág. 2869

19. OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AOAC INTERNACIONAL,  
Editado por Patricia Conniff. Publicado por AOAC Internacional, 16th  
edición, volumen 1 y 2, U.S.A, 1998.

20. PEARSON D. Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos.  
Editorial Acribia, Zaragoza, España, 1981

21. RANKEN, M.D, Manual de las Industrias de los Alimentos, Segunda  
Edición, Editorial Acribia, Zaragoza, España, 1993. Pag.429, 393-394.

22. REINOSO, BENJAMÍN. OLLAGUE, VICENTE. Extracción y análisis  
Experimental de la Pectina de las Cáscaras del Limón, Naranja, Toronja.  
(Tesis, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil 1976)

23. Tesis virtuales: Extracción De Pectina A Partir Del Melón.

Enlace:

[http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/01383875355804721199802/002339\\_2.pdf](http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/01383875355804721199802/002339_2.pdf)

24. UCDAVIS, Storage of Postharvest

Enlace:

[http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/span\\_hl.shtml](http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/span_hl.shtml)

25. WATER ACTIVITY THEORY.

Enlace: <http://www.wateractivity.org/theory.html>. Domingo 27 de abril de 2008

# **APÉNDICES**

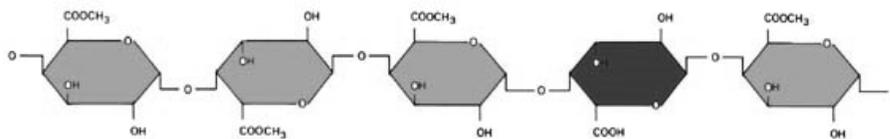
## APÉNDICE A

### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO DEL LIMON SUTIL (24).

Nombre científico:	Citrus Aurantifolia Swingle
Temperatura óptima*	10-13°C
Temperatura de almacenamiento:	9-13°C
Humedad relativa óptima*:	85-90%
Temperatura más alta de congelación*:	-1.60
Tiempo de almacenamiento aproximado*:	6 – 8 semanas
Taza de producción de etileno*:	< 0.1 $\mu\text{L}/\text{kg}^*\text{h}$ a 20°C

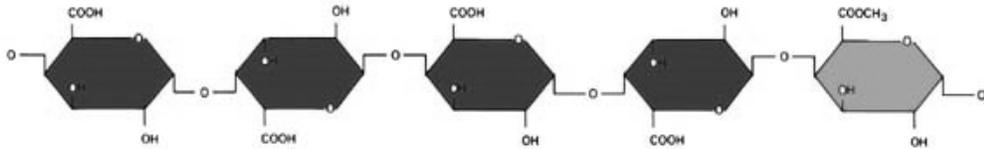
## APÉNDICE B

PECTINAS DE ALTO GRADO METOXILO ( $\text{COOCH}_3$ ) SU GRADO DE ESTERIFICACIÓN (GE) ES SUPERIOR AL 50% POR EJEMPLO ESTA PECTINA TIENE 80% GE



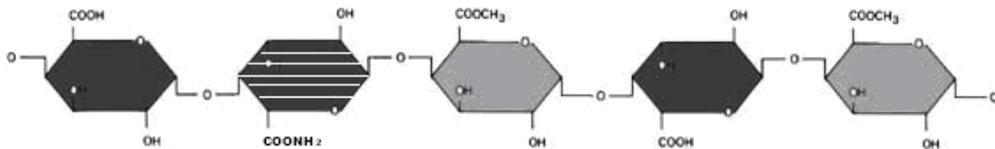
## APÉNDICE C

PECTINAS DE BAJO GRADO METOXILO SU GRADO DE ESTERIFICACIÓN (GE) ES INFERIOR AL 50% POR EJEMPLO ESTA PECTINA TIENE 20% GE



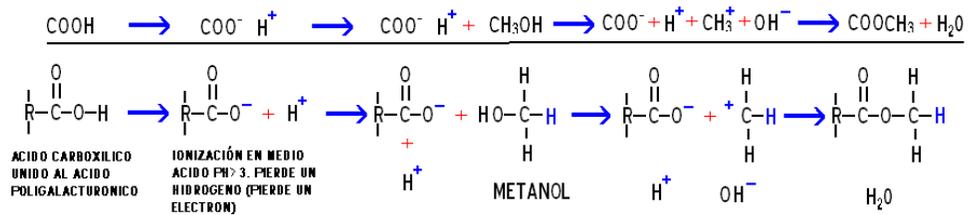
## APÉNDICE D

PECTINAS DE BAJO GRADO METOXILO AMIDADAS (COONH<sub>2</sub>) SU GRADO DE ESTERIFICACIÓN (GE) Y AMIDACION (GA) SON INFERIORES A 45% Y 25% RESPECTIVAMENTE POR EJEMPLO ESTA PECTINA TIENE GE 40% Y GA 20%



## APÉNDICE E

### ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA FORMACIÓN DEL METOXILO Y DEL GEL DE PECTINA A PARTIR DEL CARBOXILO UNIDO AL ÁCIDO GALACTURÓNICO EN PRECENCIA DE METANOL.



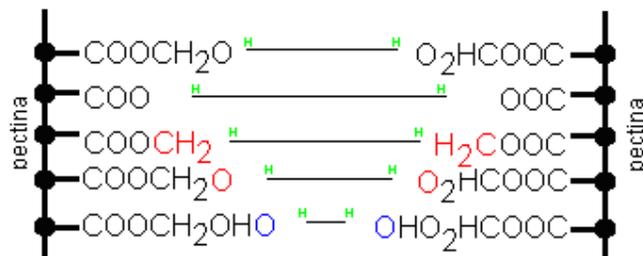
R AL CARBONO DE LA REPRESENTA LA CADENA DE ACIDO POLIGALACTURONICO

H PUEDE SER UN HIDROGENO O UN GRUPO FUNCIONAL Y ESTAR UNIDO A OTRA MOLECULA COMO LA SACAROSA MEDIANTE PUENTES DE HIDROGENO

LA MOLECULA DE AGUA RESULTANTE SE UNE AL AZÚCAR A 35BRIX LOGRANDO QUE LA MOLECULA SE DESHIDRATA Y EL AZUCAR ES EL ENCARGADO DE CAPTURAR AL AGUA A SU VES EL AZUCAR SE UNE AL H METOXILO FORMANDO ENLACE CARBONO-CARBONO MEDIANTE EL PUENTE DE HIDROGENO

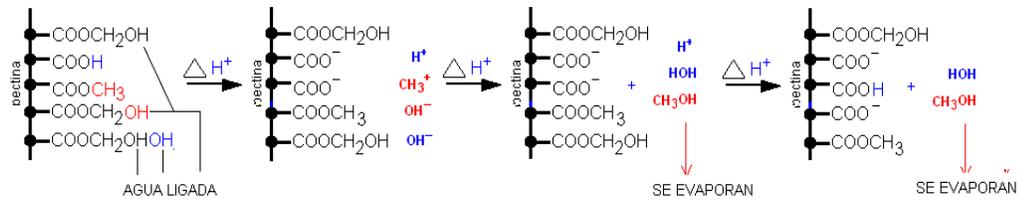
## APÉNDICE F

### ESTRUCTURA QUÍMICA DE LOS POSIBLES ENLACES PARA LA FORMACIÓN DE GEL DE ALTO METOXILO.



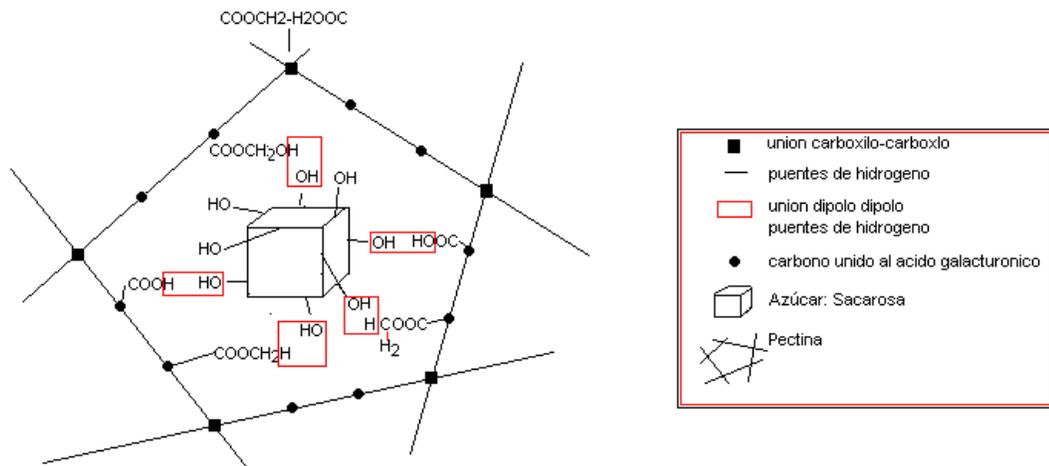
## APÉNDICE G

### EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO SOBRE ESTRUCTURA DE LA PECTINA DE ALTO METOXILO.



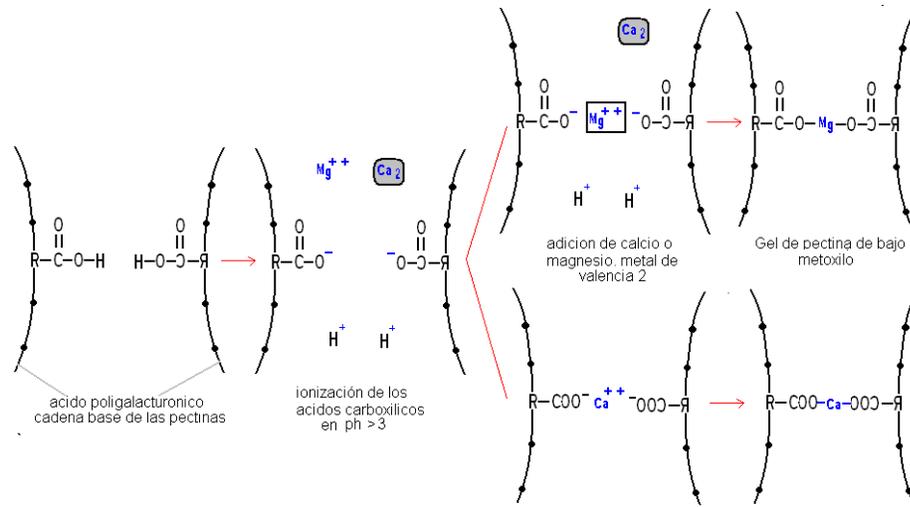
## APÉNDICE H

### ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA FORMACIÓN DEL GEL DE PECTINA DE ALTO METOXILO.



## APÉNDICE I

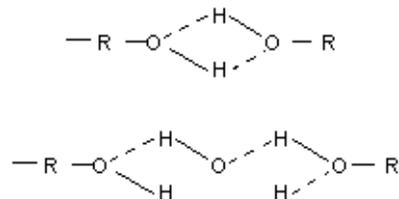
### ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA FORMACIÓN DEL GEL DE PECTINA DE BAJO METOXILO.



## APÉNDICE J

### FORMACIÓN DE PUENTES DE HIDROGENO: DIPOLO-DIPOLO.

Puentes de hidrogeno

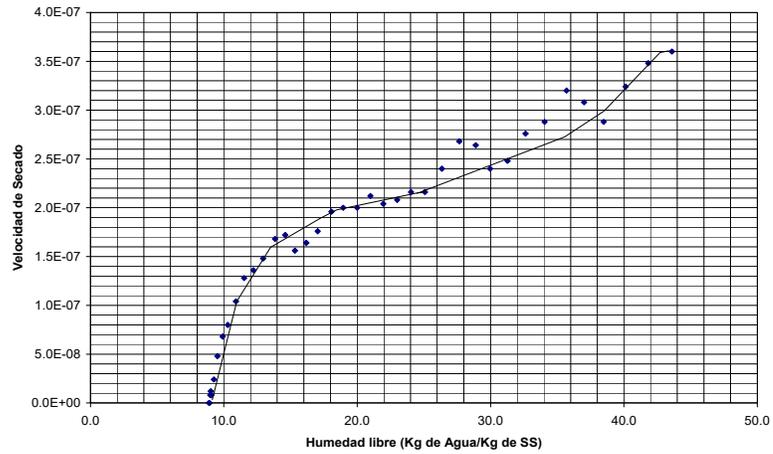


agua libre se une a la molecula

a temperatura alta los enlaces se rompen por  
la hidrolisis

## APÉNDICE k

### CURVA 50°C.: VELOCIDAD DE SECADO VERSUS HUMEDAD.



## APÉNDICE L

### CURVA 70°C.: VELOCIDAD DE SECADO VERSUS HUMEDAD.

