

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**QUÍMICA INDUSTRIAL**



**PROYECTO DE GRADO**

Para optar el grado de Licenciatura en Química Industrial

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS Y  
RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE PECTINAS  
OBTENIDAS A PARTIR DE CÁSCARAS DE NARANJA Y  
TORONJA**

**POSTULANTES:**

MARIANA CANAVIRI CONDORI

LOURDES ROSMERY MAMANI CASTRO

**TUTORA:** LIC. PATRICIA DUCHEN

**LA PAZ- BOLIVIA**  
**2020**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**QUÍMICA INDUSTRIAL**

Proyecto De Grado:

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS  
COMESTIBLES A BASE DE PECTINAS OBTENIDAS A PARTIR DE CÁSCARAS  
DE NARANJA Y TORONJA**

Presentado por: Univ. Mariana Canaviri Condori

Univ. Lourdes Rosmery Mamani Castro

Para optar el grado académico de licenciatura en química industrial

Nota numeral.....

Nota literal.....

Ha sido

Directora de la carrera de Química Industrial: Lic. Graciela Espinoza Huanca

Tutora: Lic. Patricia Duchén

Tribunal: M.Sc. Juan Wilson Cori Mamani

Tribunal: Ing. Rafael Álvaro García Padilla Aguilar

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por ser mi fuente de fortaleza y mi guía en este camino.*

*A mis padres, Máximo Mamani y Romaldina Castro, Por su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de mi formación académica. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí son mi ejemplo de perseverancia y constancia.*

*A mis hermanas (os) por estar siempre presentes, y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.*

*A todas las personas que hicieron que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.*

***Lourdes Rosmery Mamani Castro***

*Dedico principalmente a Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.*

*A mis padres Emilio Canaviri y Evarista Condori, ya que son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello de una manera desinteresada y lleno de amor.*

*A mis hermanos y hermanas que han sido mi ejemplo y lucha para alcanzar mis metas.*

*A todas las personas que hicieron posible este trabajo.*

***Mariana Canaviri Condori***

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecemos a nuestra tutora Licenciada Patricia Duchén, quien con sus conocimientos y apoyo nos guió a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados.

A la carrera de química industrial por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

Agradecer la colaboración de los docentes Ing. Mario Blanco y PhD. José Luis Vila Castro por habernos facilitado los medios suficientes para llevar a cabo las actividades propuestas y los conocimientos transmitidos durante la realización del proyecto.

A los miembros tribunales M.Sc. Juan Wilson Cori Mamani e Ing. Rafael Álvaro García Padilla Aguilar por su valiosa dirección y asesoramiento en el desarrollo del proyecto.

Por último, Agradecemos a nuestros docentes de la carrera de química industrial, por habernos compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

## CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
4. OBJETIVOS.....	5
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
5. JUSTIFICACIÓN.....	6
CAPÍTULO II.....	7
6. MARCO TEÓRICO.....	7
6.1. POLÍMEROS.....	7
6.1.1. Reacciones de polimerización.....	7
6.1.2. Polímeros biodegradables.....	8
6.1.3. Polímeros naturales.....	9
6.2. PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES.....	10
6.2.1. Definición y propiedades.....	10
6.2.2. Componentes de las películas y recubrimientos.....	11
6.2.3. Propiedades físicas de las películas.....	13
6.2.3.1. Propiedades de espesor.....	13
6.2.3.2. Solubilidad en agua.....	14
6.2.3.3. Propiedades mecánicas.....	14
6.2.4. Factores que afectan las propiedades de las películas.....	14
6.2.4.1. Efecto del plastificante.....	14
6.2.4.2. Efecto del proceso de secado.....	15

6.2.4.3.	Efecto del espesor.....	15
6.2.5.	Ventajas del uso de recubrimientos comestibles .....	15
6.3.	PECTINA.....	16
6.3.1.	Composición química.....	16
6.3.2.	Estructura.....	16
6.3.3.	Materiales seleccionados para la formulación de las películas y recubrimientos en el proyecto.....	18
6.3.4.	Extracción de pectinas por el método hidrólisis ácida .....	19
6.4.	SECADO.....	19
6.4.1.	DEFINICIÓN Y PRINCIPALES CONCEPTOS.....	19
6.5.	CINÉTICA DE SECADO.....	20
6.5.1.	Velocidad de secado .....	21
6.5.2.	Curvas de secado .....	22
6.5.2.1.	Curvas de variación de humedad .....	22
6.5.2.2.	Curvas de velocidad de secado.....	23
6.6.	ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (IR).....	25
6.6.1.	Partes de un Espectrofotómetro Infrarrojo .....	26
6.7.	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM) .....	27
6.7.1.	Partes del Microscopio Electrónico de Barrido.....	27
6.7.2.	Condiciones para analizar muestras en un SEM .....	29
CAPÍTULO III .....		30
7.	METODOLOGÍA .....	30
7.1.	UNIDAD DE ANÁLISIS .....	30
7.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	30
8.	MARCO EXPERIMENTAL.....	31
8.1.	MATERIALES DE LABORATORIO .....	31
8.2.	EQUIPOS DE LABORATORIO.....	31

8.3.	REACTIVOS .....	32
8.4.	RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA .....	32
8.4.1.	Acondicionamiento de la materia prima.....	33
8.5.	EXTRACCIÓN DE PECTINA.....	34
8.5.1.	Descripción del proceso de obtención de pectina.....	35
8.6.	ELABORACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES.....	38
8.6.1.	Descripción de la preparación de soluciones de pectina para películas y recubrimientos.....	38
8.7.	ANÁLISIS DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS .....	40
8.7.1.	Análisis de las Películas Comestibles.....	40
8.7.1.1.	Cinética de secado de las películas comestibles.....	40
8.7.1.2.	Caracterización de las propiedades físicas de las películas comestibles.....	41
8.7.2.	Análisis de los Recubrimientos Comestibles en frutas.....	44
8.7.2.1.	Selección de frutas para recubrimiento .....	44
8.7.2.2.	Aplicación de recubrimientos en las frutas .....	46
8.7.2.3.	Caracterización de las propiedades físico-químicas de las frutas con recubrimiento.....	48
8.7.2.4.	Evaluación de las propiedades organolépticas de la frutilla y uva con recubrimiento comestible .....	49
8.8.	ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJO (IR) .....	50
8.8.1.	Preparación de la Muestra .....	50
8.9.	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO .....	51
8.9.1.	Preparación de la muestra.....	51
CAPÍTULO IV .....		54
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	54
9.1.	IDENTIFICACIÓN DE LAS PECTINAS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA .....	54
9.2.	ANÁLISIS DE SECADO DE LAS PELÍCULAS.....	56

9.2.1.	Determinación de la velocidad de secado para la película a base de pectina al 3 %	56
9.2.2.	Determinación de la velocidad de secado para la película a base de pectina al 5 %	59
9.2.3.	Análisis de las propiedades físicas de las películas comestibles	64
9.2.4.	Características estructurales evaluadas mediante Microscopía Electrónica de Barrido	69
9.3.	ANÁLISIS DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS FRUTAS	72
9.3.1.	Cálculo de la pérdida de peso	72
9.3.2.	Cálculo de la acidez titulable, sólidos solubles e índice de madurez	76
9.4.	EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS FÍSICOS Y VISUALES DE LAS FRUTILLAS CON RECUBRIMIENTO Y SIN RECUBRIMIENTO	82
9.5.	EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE SOBRE LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LAS FRUTILLAS Y UVAS.	84
9.5.1.	Prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al olor	84
9.5.2.	Prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al brillo	86
9.5.3.	Prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al textura	87
9.5.4.	Prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al sabor	89
9.5.5.	Grado de satisfacción en cuanto a la apariencia	90
10.	CONCLUSIONES	92
11.	RECOMENDACIONES	94
12.	BIBLIOGRAFÍA	95
13.	ANEXOS	98



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulaciones de películas y recubrimientos comestibles .....	39
Tabla 2. Tabla de codificación para la evaluación organoléptica.....	50
Tabla 3. Tabla comparativa según espectro IR.....	54
Tabla 4 . Variables para la determinación de la velocidad de secado de la película al 3% .....	56
Tabla 5 . Variables para la determinación de la velocidad de secado de la película al 5% .....	59
Tabla 6 . Variables para la determinación de la velocidad de secado de la película al 7% .....	62
Tabla 7. Medidas del espesor de las películas comestibles .....	65
Tabla 8. Tabla de resultados estadísticos del espesor.....	66
Tabla 9. Porcentaje de solubilidad de las películas comestibles .....	66
Tabla 10 .Datos experimentales, para el cálculo de la tensión de las películas comestibles.....	68
Tabla 11. Datos experimentales para el cálculo de elongación máxima .....	68
Tabla 12. Datos experimentales obtenidos para la determinación de pérdida de peso en las frutillas.....	73
Tabla 13. Porcentaje de pérdida de peso en frutillas .....	73
Tabla 14. Datos experimentales obtenidos para la determinación de pérdida de peso en las uvas .....	74
Tabla 15. Porcentaje de pérdida de peso en uvas .....	75
Tabla 16. Resultados finales de: %de acidez, sólidos solubles e índice de madurez para las frutillas.....	76
Tabla 17. Resultados finales de :%de acidez , sólidos solubles e índice de madurez para las uvas.....	79

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Peso total vs. Tiempo de películas a base de pectina al 3% .....	57
Gráfica 2. Velocidad de secado vs. Humedad de películas a base de pectina al 3% .....	58
Gráfica 3. Peso total vs Tiempo.....	58
Gráfica 4. Peso total vs. Tiempo de películas a base de pectina al 5% .....	60
Gráfica 5. Velocidad de secado vs. Humedad de películas a base de pectina al 5% .....	61
Gráfica 6. Peso total vs Tiempo.....	61
Gráfica 7. Peso total vs. Tiempo de películas a base de pectina al 7% .....	63
Gráfica 8. Velocidad de secado vs. Humedad de películas a base de pectina al 7% .....	63
Gráfica 9. Peso total vs Tiempo.....	64
Gráfica 10. Solubilidad de las películas comestibles en agua con respecto a su concentración de pectina.....	67
Gráfica 11. Porcentaje de acidez, de las frutillas con recubrimiento y sin recubrimiento .....	77
Gráfica 12. Solidos solubles, de las frutillas con recubrimiento y sin recubrimiento .....	77
Gráfica 13. Índice de madurez, de las frutillas con y sin recubrimiento .....	78
Gráfica 14. Porcentaje de acidez, de las uvas con y sin recubrimiento. ....	80
Gráfica 15. Solidos solubles ,de las uvas con recubrimiento y sin recubrimiento .....	80
Gráfica 16. Índice de madurez, de las uvas con y sin recubrimiento .....	81
Gráfica 17. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al olor de frutillas sin recubrir vs recubiertas. ....	85
Gráfica 18. Resultados obtenidos para la prueba de medicion del grado de satisfacción en cuanto al olor de uvas sin recubrimiento vs con recubrimiento. ....	85
Gráfica 19. Resultados obtenidos para la prueba de medicion del grado de satisfacción en cuanto al brillo de frutillas sin recubrimiento vs con recubrimiento.....	86

Gráfica 20. Resultados obtenidos para la prueba de medicion del grado de satisfacci3n en cuanto al brillo de uvas sin recubrimiento vs con recubrimiento.....	87
Gráfica 21. Resultados obtenidos para la prueba de medicion del grado de satisfaccion en cuanto a la textura de frutillas sin recubrimiento vs con recubrimiento.....	88
Gráfica 22. Resultados obtenidos para la prueba de medicion del grado de satisfacci3n en cuanto a la textura de uvas sin recubrimiento vs con recubrimiento. ....	88
Gráfica 23. Resultados obtenidos para la prueba de medicion del grado de satisfacci3n en cuanto al sabor de frutillas sin recubrimiento vs con recubrimiento.....	89
Gráfica 24. Resultados obtenidos para la prueba de medici3n del grado de satisfacci3n en cuanto al sabor de uvas sin recubrimiento vs con recubrimiento.....	90
Gráfica 25. Resultados obtenidos para la prueba de preferencia de frutillas sin recubrimiento vs. frutillas recubiertas. ....	91
Gráfica 26. Resultados obtenidos para la prueba de preferencia de uvas sin recubrimiento vs. uvas recubiertas. ....	91

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue elaborar películas y recubrimientos comestibles (polímero biodegradable) a base de pectinas, para la aplicación en empaque alimentario. La extracción de las pectinas se llevó a cabo con una solución de ácido clorhídrico y precipitación de las mismas con alcohol etílico al 96% v/v, con la finalidad de efectuar el proceso de obtención de pectina con insumos accesibles y disponibles en los laboratorios; se evaluaron pH, tiempo y temperatura de hidrólisis.

La elaboración de películas comestibles se llevó a cabo por el método casting (vaciado en placa), la evaporación de materia acuosa se eliminó a temperatura de 40 °C estudiándose en este apartado la cinética de secado. La formulación de las películas varió en base a la concentración pectina, permaneciendo constante la glicerina.

La caracterización de las películas consistió en evaluar sus propiedades físicas, mecánicas y sus características microestructurales por microscopía electrónica de barrido (SEM), en el análisis microestructural se observó que las películas a base de pectinas presentaron superficies lisas y homogéneas sin huecos o fracturas.

Se desarrollaron formulaciones de recubrimientos comestibles las cuales se emplearon para recubrir frutas, tres formulaciones de recubrimiento a base de pectina fueron aplicadas en frutilla y uva. Se fue realizado un seguimiento durante el almacenamiento de las propiedades fisicoquímicas, en cuanto a pérdida de peso acidez titulable y sólidos solubles. La aplicación de estos recubrimientos comestibles crea una barrera a la pérdida de vapor de agua, que se manifiesta como una disminución de la pérdida de peso durante el almacenamiento, comparando las frutas recubiertas y sin recubrir usadas como controles. Sensorialmente presentaron mayor aceptación las frutas recubiertas, principalmente en el parámetro de apariencia y brillo.

## SUMMARY

The objective of the present study was to produce edible films and coatings (biodegradable polymer) based on pectins, for application in food packaging. The pectin extraction was carried out with a hydrochloric acid solution and precipitation of the same with ethyl alcohol at 96% v / v, in order to carry out the process of obtaining pectin with accessible inputs available in the laboratories; hydrolysis pH, time and temperature were evaluated.

The production of edible films was carried out by the casting method (plate casting), the evaporation of aqueous matter was eliminated at a temperature of 40 ° C, studying the drying kinetics in this section. The formulation of the films varied based on the pectin concentration, with glycerin remaining constant.

The characterization of the films consisted of evaluating their physical and mechanical properties and their microstructural characteristics by scanning electron microscopy (SEM). In the microstructural analysis, it was observed that the pectin-based films presented smooth and homogeneous surfaces without gaps or fractures.

Edible coating formulations were developed which were used to coat fruits, three pectin-based coating formulations were applied to strawberries and grapes. The physicochemical properties were monitored during storage, in terms of loss of weight, titratable acidity and soluble solids. The application of these edible coatings creates a barrier to the loss of water vapor, which is manifested as a decrease in weight loss during storage, comparing the coated and uncoated fruits used as controls. Sensorially, the coated fruits showed greater acceptance, mainly in the parameter of appearance and brightness.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

La tecnología de empaques comestibles es bastante desconocida, tanto en su capacidad de conservar los alimentos como los procesos de obtención; tampoco se conocen muy bien los diferentes tipos que existen y sus características. Es por eso que el desarrollo y uso de empaques, a base de biomateriales, para prolongar la vida y mejorar la calidad de los productos alimenticios, ha venido creciendo debido a la necesidad de reducir y sustituir el empleo de plásticos y envases sintéticos, por materiales menos agresivos con el medio ambiente; el incremento en las expectativas del consumidor por una mayor variedad de productos frescos y la demanda por alimentos con mayor vida útil. Por tal razón, las películas o recubrimientos comestibles biodegradables pueden resultar una forma innovadora y efectiva de proteger al alimento, reduciendo al mismo tiempo el uso de envases no recuperables.

En el proyecto se propone la elaboración de recubrimientos y películas a base de pectinas obtenidas de cascaras de naranja y toronja, variando la concentración de pectina, con la finalidad de estudiar el efecto de la concentración en las características físicas y organolépticas de las películas, así también se aplicara estos en recubrimientos de distintas frutas ya que requiere que actúen como barrera de protección con el propósito de evaluar el estado de madurez y oxidación, sin alterar las características organolépticas del producto.

## 2. ANTECEDENTES

La Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de México, realizó una monografía denominada “Generalidades y Aplicación de Películas y Recubrimientos Comestibles en la Cadena Hortofrutícola”, En la monografía se encuentra una síntesis de diversas investigaciones recientes en el estudio y desarrollo de películas y recubrimientos comestibles, haciendo énfasis en su obtención y aplicación en la cadena hortofrutícola. Tienen la viabilidad para incorporar agentes antimicrobianos para proveer estabilidad microbiológica a los alimentos, ya que sirven como acarreadores de un amplio número de aditivos que pueden extender la vida en anaquel de un producto y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en la superficie de los alimentos. (Reyes, 2011)

La Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Química, realizó una tesis denominada “Elaboración y Caracterización de Películas de Mucilago de Nopal-Pectina: Efecto de la Concentración del Mucilago de Nopal en las Propiedades Fisicoquímicas y Mecánicas”, el objetivo del estudio fue desarrollar películas comestibles a base de mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*), variedad milpa alta, con un componente proteico (pectina) y glicerol como plastificante. La extracción del mucilago de nopal se llevó a cabo con una solución de  $\text{CaCl}_2$  al 20%, mientras que la concentración de sólidos totales se realizó utilizando un termo baño a 60 °C. La formulación de las películas varió en base a la concentración de sólidos totales del mucilago, tanto pectina como glicerol, permanecieron constantes. Las películas que presentaron menos estabilidad térmica fueron las elaboradas con pectina-agua-glicerol (P-A-G) y pectina-glicerol (P-G), en comparación con aquellas con contenido de mucilago de nopal, pectina-mucilago-glicerol (P-M-G). La incorporación de mucilago de nopal en bajas concentraciones mejoró las propiedades mecánicas (elasticidad, elongación, esfuerzo máximo, etc.). En el análisis microestructural se observó que las películas con altas concentraciones de sólidos totales de mucilago de nopal (P-M15-G y P-M20-G) presentaron superficies rugosas y en algunos casos fracturadas. La película que presentó mayor permeabilidad de vapor de agua fue la elaborada con pectina-agua-glicerol (P-A-G), encontrando además que al incrementar la concentración de sólidos totales del mucilago el PVA disminuye. (Silvas, 2017)

La Universidad Nacional de Colombia realizó una tesis denominada “Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolímero para prolongar la vida útil de frutas

frescas”, desarrollaron formulaciones de recubrimientos comestibles las cuales se emplearon para recubrir frutas y elaborar películas comestibles por la técnica de moldeo por evaporación de solvente. Evaluó el efecto en propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua, espesor y color de las películas elaboradas con la adición del biopolímero tipo dextrana en concentraciones de 2, 3 y 5% p/v, pectina 0, 0.1, 0.4, 1 y 2 %p/v, glicerol y sorbitol al 70% p/v en concentraciones 0, 0.2, 0.5, 1 y 1.5, %v/v, polisorbato 80 en concentraciones de 0.1, 0.2, 0.5 %v/v, el aceite de canola se evaluó en concentraciones de 0.1, 0.2, 0.5%v/v y el aceite de canela en la concentración de 0.005% v/v. El método de aplicación del recubrimiento en frutas se determinó por la evaluación de características fisicoquímicas en fresas recubiertas por inmersión y aspersion durante el almacenamiento en refrigeración. Tres formulaciones fueron aplicadas en fresa, arándano y feijoa. Fue realizado un seguimiento durante el almacenamiento de las propiedades fisicoquímicas, de textura, características sensoriales y microbiológicas. Las películas con alto contenido de dextrana fueron quebradizas. La aplicación de los recubrimientos comestibles crea una barrera a la pérdida de vapor de agua, que se manifiesta como una disminución de la pérdida de peso durante el almacenamiento, comparando las frutas recubiertas y sin recubrir usadas como controles. Los recubrimientos logran la protección del color de las frutas durante el almacenamiento. Sensorialmente presentaron mayor aceptación las frutas recubiertas, principalmente en el parámetro de apariencia y brillo. Los recubrimientos comestibles a base de dextrana muestran potencial para prolongar la vida útil de frutas. (Martínez D. C., 2013)



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La síntesis de polímeros biodegradables disminuye la contaminación por el uso de materiales plásticos no biodegradables por tanto constituye un porcentaje importante en la acumulación de desechos sólidos. Como respuesta a esta necesidad surgen los materiales biodegradables a partir de polímeros naturales como una alternativa para disminuir la contaminación causada por los desechos plásticos sintéticos, los cuales se acumulan en el ambiente a gran velocidad y que requieren de un tiempo prolongado para ser asimilados nuevamente por la naturaleza. Entre las principales ventajas que presenta dichas películas son: amigables con el medio ambiente ya que son susceptibles de sufrir biodegradabilidad, así como potencialmente comestibles por estar elaborados con compuestos naturales.

Debido al crecimiento de la producción sustentable se busca que los materiales con los que se fabrican los envases tengan el menor impacto posible sobre el medio ambiente, las películas y recubrimientos comestibles son una alternativa utilizada para la protección de alimentos, que favorece la prolongación de la vida útil del alimento.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Elaborar películas y recubrimientos comestibles (polímero biodegradable) a base de pectinas, obtenida por el método de hidrólisis acida de cáscaras de naranja y toronja, como propuesta de aplicación en empaque alimentario.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las pectinas obtenidas por espectrofotometría infrarrojo para la formulación de películas y recubrimientos comestibles (polímero biodegradable).
- Estudiar la cinética de secado de las películas comestibles a una temperatura de 40°C.
- Evaluar las propiedades físicas (espesor, solubilidad en agua y resistencia a la ruptura) de las películas comestibles.
- Realizar la caracterización estructural por microscopía electrónica de barrido de las películas comestibles.
- Recubrir frutas con las diferentes formulaciones preparadas, evaluando el efecto de la transferencia de humedad y estado de madurez.

## **5. JUSTIFICACIÓN**

El uso indiscriminado de empaques sintéticos ha generado serios problemas ecológicos contribuyendo a la contaminación ambiental provocada por desechos sólidos de baja degradabilidad, lo que ha impulsado a la búsqueda de biopolímeros naturales. El aprovechar los recursos naturales como fuente de conservación y reciclaje se convierte en una excelente opción e innovación en el desarrollo de nuevos productos biodegradables.

Sin embargo, en la última década ha aumentado de forma muy notoria el interés en el desarrollo y uso de materiales de envases biodegradables que prolonguen la vida útil y que mejoren la calidad de los alimentos ya sean frescos, congelados, procesados, entre otros. Apoyados en lo anteriormente mencionado, el propósito principal para el desarrollo de este proyecto es elaborar una película polimérica comestible, dicha película se emplea para recubrir frutas no procesadas.

El proyecto de grado es de carácter investigativo donde se plantea el uso de un derivado de las cascaras de naranja y toronja (pectina) para formular un recubrimiento biodegradable con buenas propiedades de barrera, que pueda ser usado como material de empaque en alimentos. Así, se espera contribuir a proponer formulaciones de películas a base de biopolímeros que no sólo tengan un impacto positivo al medio ambiente, sino también en la conservación de los alimentos.

## CAPÍTULO II

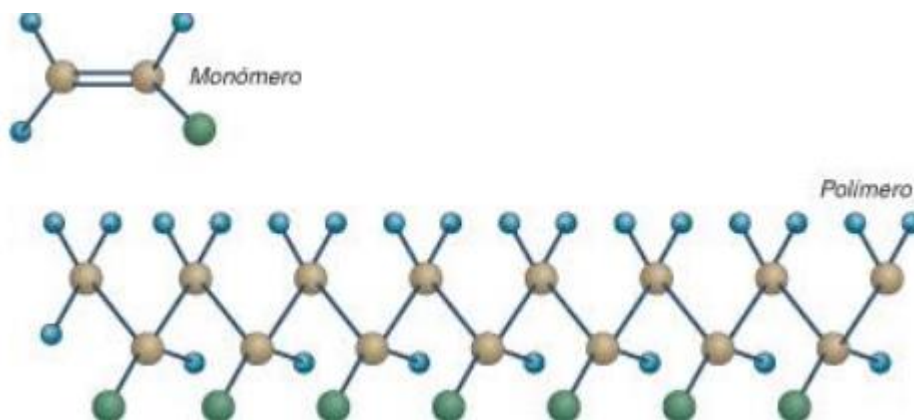
### 6. MARCO TEÓRICO

#### 6.1. POLÍMEROS

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. El término macromolécula significa molécula muy grande. “Polímero” y “macromolécula” son términos que suelen utilizarse indistintamente, aunque estrictamente hablando no son equivalentes ya que las macromoléculas, en principio, no requieren estar formadas por unidades de repetición.

Se trata de cadenas muy largas en las que muchos átomos están alineados uno junto a otro. En el sentido etimológico, la palabra “polímero” deriva del griego poli y meros, que significan muchas y partes respectivamente como se muestra en la Figura 1, en contraste con “monómero” mono significa uno.

**Figura 1 . Comparación entre un monómero y un polímero**



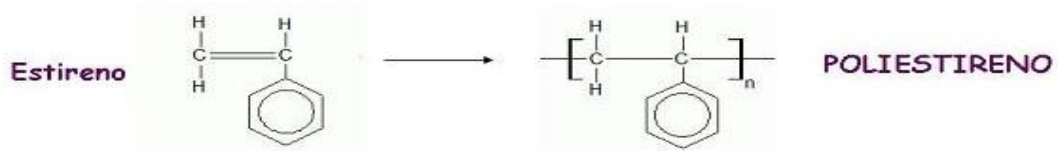
Fuente: síntesis y caracterización de polímeros (Velásquez, 2018)

##### 6.1.1. Reacciones de polimerización

- **Polimerización por adición**

Este tipo de reacciones de polimerización se efectúa habitualmente con monómeros que tienen doble enlace carbono-carbono. Los polímeros de adición se forman por adición de una molécula de monómero a otra como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2. Reacción de polimerización por adición**

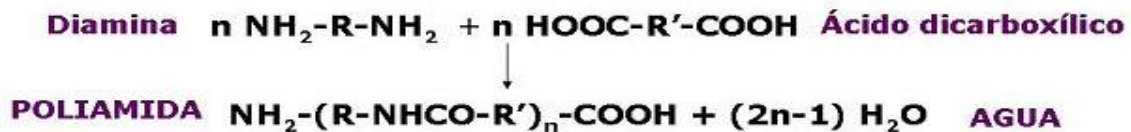


Fuente: Síntesis y caracterización de polímeros (Velásquez, 2018)

- **Polimerización por condensación**

En este caso, la polimerización tiene lugar por reacción entre moléculas que poseen grupos funcionales. Se forman cuando las unidades de monómero se combinan para dar cadenas polímeras, muchas veces mediante la eliminación de moléculas pequeñas como las de agua. Se forma por reacción entre dos monómeros con grupos funcionales diferentes con pérdidas de una molécula pequeña, como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3. Reacción de polimerización por condensación**



Fuente: síntesis y caracterización de polímeros (Velásquez, 2018)

### 6.1.2. Polímeros biodegradables

Un polímero biodegradable es aquel que puede ser degradado completamente por el medio ambiente, reduciendo así el impacto ambiental que estos materiales producen. Por lo tanto, de acuerdo con esta definición, cuando un envase plástico biodegradable es desechado al final de su vida útil, comienza a transformar su estructura molecular, y por lo tanto sus propiedades físicas y químicas, debido a la influencia de agentes ambientales. Así, el polímero es transformado en sustancias simples o en componentes menores como agua, dióxido de carbono y biomasa que finalmente se asimilan al medio ambiente. (Labeaga, 2018)

Los polímeros biodegradables pueden clasificarse, según su origen, dentro de tres categorías principales:

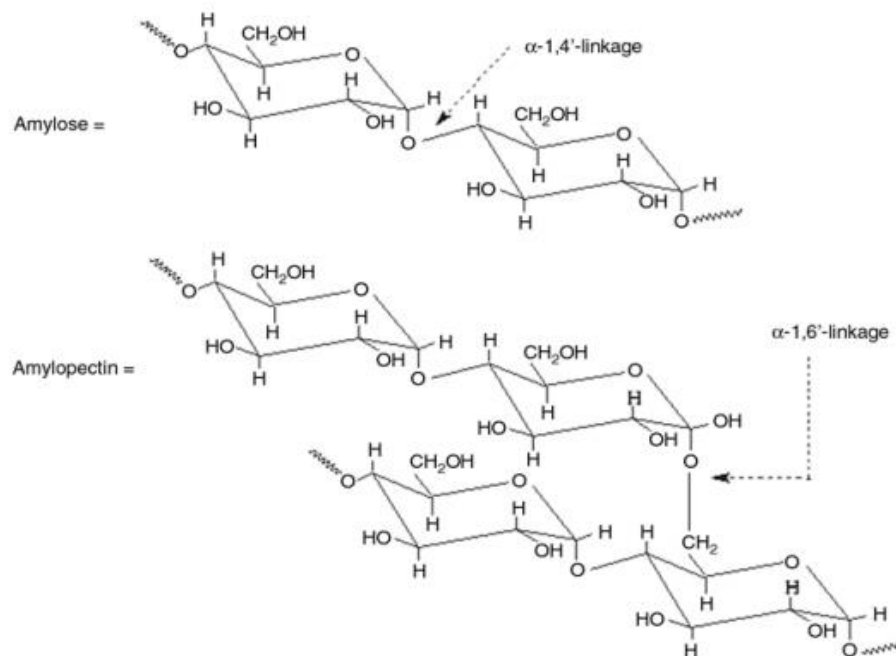
- Polímeros naturales: como la celulosa, el almidón y las proteínas

- Polímeros sintéticos: los más prometedores son los poliésteres alifáticos como el ácido poliláctico (PLA), el ácido poliglicólico (PGA), la policaprolactona (PCL), o el óxido de polietileno (PEO) entre otros.
- Polímeros sintetizados por microorganismos: son polímeros que se sintetizan biotecnológicamente con bacterias, como los polihidroxicanoatos (PHA's)

### 6.1.3. Polímeros naturales

El almidón es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales, no es realmente un polisacárido, sino la mezcla de dos, la amilosa (20%) y la amilopectina (80%). Ambos están formados por unidades de glucosa, en el caso de la amilosa unidas entre ellas por enlaces  $\alpha$  1-4 lo que da lugar a una cadena lineal. En el caso de la amilopectina, aparecen ramificaciones debidas a enlaces  $\alpha$  1-6. A continuación, se muestran las estructuras de la amilosa y de la amilopectina. (Labeaga, 2018)

**Figura 4. Estructuras de la amilosa y la amilopectina**



Fuente: Polímeros biodegradables, (Labeaga, 2018)

## **6.2. PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES**

### **6.2.1. Definición y propiedades**

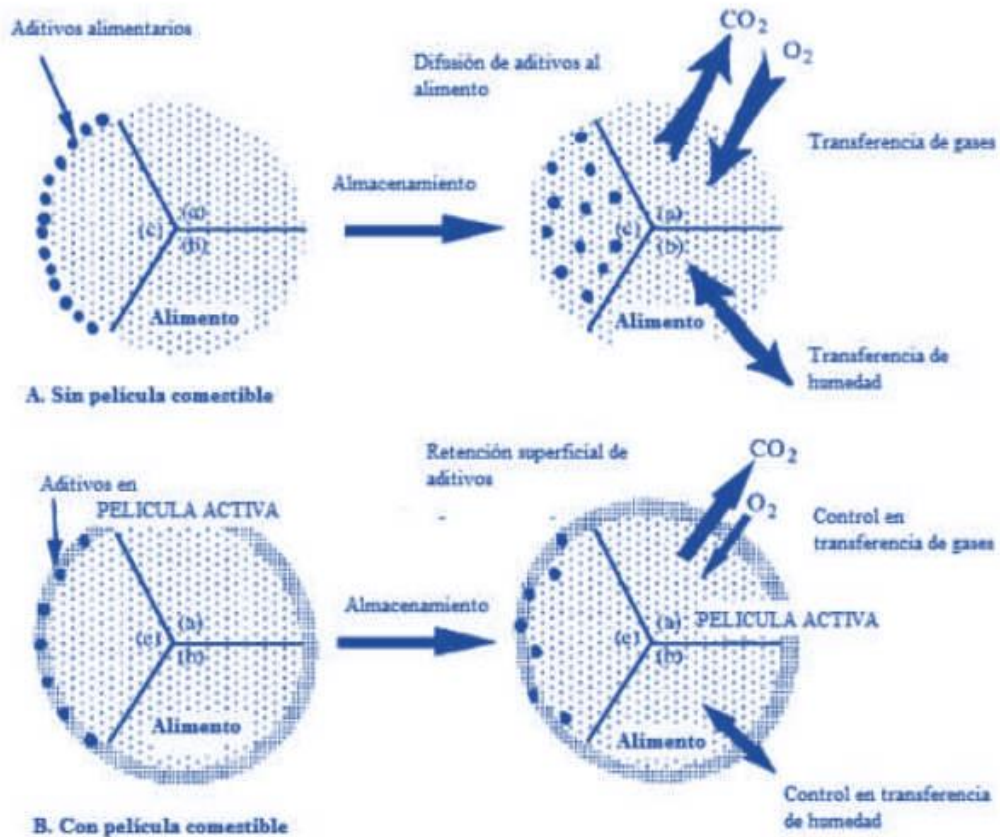
Los recubrimientos y las películas comestibles se definen como una o varias capas delgadas y continuas compuestas por materiales que pueden ser ingeridos por el consumidor. Los recubrimientos comestibles se aplican directamente sobre el producto por inmersión, rociado o pincelado y se forman sobre el mismo durante una etapa de secado. Las películas comestibles se producen sobre un molde y posteriormente se aplican sobre el producto. (Guilbert, Gontard, & Gorris, 1996)

Los recubrimientos y las películas comestibles ideales se caracterizan por actuar como una barrera frente a la transmisión de humedad, solutos y/o gases, brindar protección mecánica; poseer una determinada solubilidad en agua, ser transparentes, no otorgar sabor ni olor diferente al alimento y por no ser detectados durante su consumo. Además, entre otras características, deben estar libres de tóxicos y ser seguros para la salud; deben requerir una tecnología simple para su elaboración y el costo de las materias primas y de producción deben ser bajos. (Kester & Fennema, 1986)

Las propiedades anteriormente nombradas dependen del tipo de material empleado, del procedimiento de formación y del método de aplicación del recubrimiento y la película comestible y usualmente pueden ser mejoradas incluyendo en la formulación aditivos funcionales tales como antioxidantes, agentes antimicrobianos, enzimas y nutrientes.

Dentro de las funciones más importantes de los recubrimientos comestibles se encuentra el retardar la migración de humedad, controlar el transporte de gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y etileno), retener componentes volátiles, reducir el transporte de solutos, servir de vehículo de aditivos, mejorar las propiedades mecánicas y de manejo del alimento, además de impartir una mayor integridad a la estructura del mismo. (Grau, 2006)

Figura 5. Representación esquemática de la conservación de alimentos con y sin película



Fuente: Propiedades de películas comestibles. (Romero & Estrada, 2011)

### 6.2.2. Componentes de las películas y recubrimientos

Los principales componentes de los recubrimientos comestibles son polisacáridos, proteínas, lípidos y resinas. Estos materiales pueden emplearse individualmente o en mezclas, formando recubrimientos y películas compuestos, mientras que no alteren adversamente las características organolépticas del alimento. Adicionalmente, las formulaciones pueden incluir plastificantes, emulsionantes, saborizantes, compuestos antimicrobianos, etc. para mejorar las propiedades de los recubrimientos y películas comestibles.

- **Polisacáridos:** Entre los polisacáridos formadores de recubrimientos y películas comestibles se pueden citar la pectina, almidón, el quitosano, la celulosa, la carragenina, el



alginate, y ciertas gomas y fibras. Los polisacáridos poseen una secuencia simple, pero pueden adoptar conformaciones complicadas e impredecibles. Además, si bien la mayoría de los carbohidratos son neutros, la presencia en sus estructuras de un número relativamente grande de grupos hidroxilo y otros componentes hidrofílicos indica que el enlace de hidrógeno puede jugar un rol importante en la formación y características del recubrimiento. Algunas gomas, por otra parte, poseen cargas negativas y muestran propiedades diferentes dependiendo del pH del medio. (Han & Gennadios, 2005)

- **Proteínas:** Los materiales formadores de recubrimientos y películas comestibles a base de proteínas derivadas de fuentes animales incluyen el colágeno, la gelatina, las proteínas miofibrilares de pescado, la queratina, las proteínas de la clara de huevo, la caseína, las proteínas del suero de quesería, etc. Entre los materiales derivados de fuentes vegetales se pueden citar la ceína de maíz, el gluten de trigo, las proteínas de soja, de maní y de semillas de algodón, etc. Las características más distintivas de las proteínas comparadas con otros materiales formadores de recubrimientos y películas son la desnaturalización conformacional, la presencia de cargas electrostáticas y la naturaleza anfifílica. Las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria de las proteínas pueden ser modificadas por distintos tratamientos físicos y agentes químicos (calor, tratamiento mecánico, presión, irradiación, lípidos en interfaces, ácidos y álcalis, iones metálicos, etc.) y este hecho es aprovechado muy a menudo para optimizar la configuración e interacciones de las proteínas y como resultado las propiedades del recubrimiento y película obtenidos. Una ventaja adicional de los recubrimientos y películas a base de proteínas es que pueden mejorar la calidad nutricional de los alimentos dado que aumentan el contenido proteico del producto. Por otra parte, el proceso de selección de un recubrimiento o película a base de proteínas para su aplicación en alimentos debe considerar la posibilidad de que un segmento de la población sea alérgico a ciertas proteínas, esto es particularmente importante en el caso de proteínas del trigo.
- **Lípidos y resinas:** Los lípidos y resinas también son empleados como materiales formadores de recubrimientos y películas comestibles. Los recubrimientos y películas a base de estos componentes se elaboran con ceras y aceites tales como cera o aceite de parafina; ceras de abejas, de carnauba y de candelilla; aceites minerales y vegetales;

monoglicéridos acetilados; ácidos esteáricos, láurico y palmítico; ésteres de ácidos grasos-sacarosa, entre otros.

Generalmente, estos recubrimientos y películas son barreras efectivas frente a la migración de vapor de agua, pero presentan propiedades mecánicas desfavorables y disminuyen o incluso previenen la migración de otros gases, lo cual puede resultar en procesos fisiológicos indeseables tales como respiración anaeróbica. Estos procesos, a su vez, disminuyen la calidad del producto resultando en el ablandamiento de la estructura del tejido, la alteración de los aromas, el retraso de la maduración y la promoción de reacciones microbiológicas.

Por otra parte, los lípidos pueden ocasionar problemas en la aplicación a consecuencia de su estructura heterogénea y su pobre adherencia al alimento. Además, debido a su fragilidad y susceptibilidad a sufrir oxidación pueden alterar las propiedades organolépticas del producto resultando en recubrimientos o películas opacos y de sabor ceroso. (Gontard, 1995)

### **6.2.3. Propiedades físicas de las películas**

Las propiedades físicas más importantes para las películas comestibles Se encuentran: color, opacidad aparente, transparencia, espesor, solubilidad y aquellas relacionadas con la resistencia mecánica (Roblejo, 2009)

#### **6.2.3.1. Propiedades de espesor**

La mayoría de los recubrimientos comestibles son de naturaleza hidrofílica se ha encontrado una relación dependiente positiva entre la permeabilidad al vapor del agua y el espesor de los recubrimientos. Consideran que a medida que el espesor de los recubrimientos aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor del agua de equilibrio en la superficie inferior de la cubierta se incrementa. Otros autores atribuyen el efecto del espesor a cambios en la estructura del recubrimiento ocasionados por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero. (Park & Chinnan , 1995)

### **6.2.3.2. Solubilidad en agua**

La solubilidad en agua es un factor importante para determinar las aplicaciones posibles de las películas. En algunos casos, se desea una película fácilmente soluble, tal como una bolsa soluble que contiene ingredientes alimenticios, mientras que en otros casos podría preferirse una película insoluble para proveer resistencia al agua y mejorar la integridad del alimento. Los materiales formadores de películas comestibles que son solubles en agua producen películas de solubilidad variada dependiendo de la proteína y de las condiciones de formación de la película y de los tratamientos efectuados. (Roblejo, 2009)

### **6.2.3.3. Propiedades mecánicas**

La propiedad mecánica de la película comestible tiene un gran impacto en la estabilidad y flexibilidad a cambios de temperatura. Las propiedades mecánicas que mayormente se determinan son la fuerza y el porcentaje de elongación al quiebre, el cual representa la habilidad de la película a extenderse. Por lo tanto, la elección de las sustancias a emplear y/o aditivos activos a añadir están totalmente relacionadas con la función para la cual se desea utilizar la cobertura comestible, la naturaleza del alimento y el método de aplicación (Rojas, 2006)

Cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión de los recubrimientos comestibles gobierna las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. Una alta capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie de la fruta. (Olivas & Barbosa, 2005)

## **6.2.4. Factores que afectan las propiedades de las películas**

### **6.2.4.1. Efecto del plastificante**

Los plastificantes se agregan para disminuir la rigidez y aumentar la elongación de las películas. Normalmente, a medida que la concentración del plastificante aumenta, los valores de la permeabilidad al vapor de agua y de elongación se incrementan mientras que la resistencia y la rigidez disminuye. (Krochta, 2002)

Durante la elaboración de la solución formadora de película se adicionan agentes plastificantes (glicerol, sorbitol, polietilenglicol o propilenglicol) que disminuyen las fuerzas intermoleculares cuando interactúan con los grupos amino y ácido de la proteína, lo que trae como consecuencia un incrementando en la movilidad de la película (Guerrero *et al.*, 2010). Estos cambios en la organización molecular modifican la funcionalidad de las películas incrementando su flexibilidad y disminuyendo su resistencia mecánica y rigidez. Otras propiedades que se ven claramente afectadas en las películas por la adición de plastificantes, son las de barrera y solubilidad. (Guerrero, 2011)

#### **6.2.4.2. Efecto del proceso de secado**

Las películas obtenidas bajo secado rápido presentan burbujas al retirarse de la superficie de formación, formando burbujas de aire o vapor de agua por debajo de la superficie las cuales son incapaces de escapar a través de la película en formación sometida a secado rápido. Además, las películas sometidas a altas temperaturas tienen una coloración amarillenta y un suave aroma a quemado, en comparación con las obtenidas a bajas temperaturas que son transparentes, incoloras e inodoras.

#### **6.2.4.3. Efecto del espesor**

El espesor de las películas formadas en la superficie de los frutos o recubrimientos, varía con el contenido en sólidos de las formulaciones, la densidad, viscosidad, tensión superficial y velocidad de secado. El espesor de una película no puede exceder los 0.25 mm, así mismo ésta no debería ser menor a 0.10 mm porque entonces sería una película muy débil con propiedades físicas pobres. (Jooyandeh, 2011)

#### **6.2.5. Ventajas del uso de recubrimientos comestibles**

Dentro de las ventajas del uso de películas comestibles en frutas y hortalizas mínimamente procesadas se encuentran. (Rojas, 2006)

- ✓ Mejoran la retención del color, ácidos, azúcares y componentes del sabor.
- ✓ Reducen la pérdida de agua.
- ✓ Mantienen la calidad durante el almacenamiento.

- ✓ Disminuyen los desórdenes metabólicos durante el período de conservación.
- ✓ Permiten la adición de otros compuestos.
- ✓ Reducen el uso de envases sintéticos.

### **6.3. PECTINA**

Las pectinas están formadas fundamentalmente por largas cadenas de unidades de ácido galacturónico, que puede encontrarse como tal ácido, con el grupo carboxilo libre, o bien o con el carboxilo esterificado por metanol (metoxilado). (Calvo, 2011)

#### **6.3.1. Composición química**

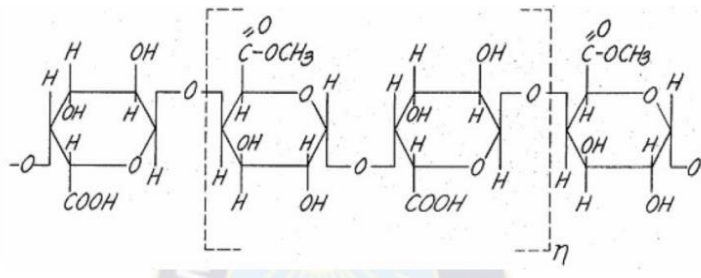
La pectina es un polímero del ácido D-galacturónico con unidades enlazadas por enlaces  $\alpha$  1-4. Las cadenas de pectina están interrumpidas por unidades de L-ramnosa unidas mediante enlaces  $\alpha$  1-2. También se puede encontrar galactosa, arabinosa, glucosa y xilosa. Por lo menos 3 de estos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

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 etóxilo. 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. (Ferreira, 2007)

#### **6.3.2. Estructura**

Las pectinas son ácidos de elevado peso molecular y se dispersan en agua. Algunos de los grupos carboxilo a lo largo de la cadena de ácido galacturónico están esterificados con metanol. El peso molecular de las pectinas está influido directamente por la fuente de extracción de la pectina y de los componentes que constituyen la misma; pero por lo general se encuentra en un amplio rango entre 2.500 a 1.000.000 g/mol. Pueden contener de 200 a 1000 unidades de ácido galacturónico (Muños, 2011). La estructura de la molécula de pectina se muestra en la Figura 6.

**Figura 6. Estructura molecular de la pectina**



Fuente: Estructura de la molécula de la pectina, (Wiles, 1971)

Algunas características importantes de las pectinas:

- El grado de metilación, el cual se refiere a la esterificación de los grupos carboxilos por radicales metilos, de acuerdo a su contenido en metoxilo, se le dará a la pectina un grado determinado.
- La degradación, en donde las pectinas se pueden degradar mediante despolimerización (donde se produce la ruptura de los restos del ácido galacturónico no metilado) o mediante desmetilación (donde el grado de metilación disminuye con la maduración).
- El poder gelificante, el cual se define como la capacidad que tiene una pectina para formar gel y depende de la molécula péctica y de su grado de metilación. Aquellas pectinas que están en agua, precipitan con alcoholes o acetonas, sin embargo, también pueden precipitarse mediante sales como sulfato de aluminio e hidróxido amonio que forman hidróxido de aluminio, cuyas partículas tienen carga positiva; y debido a las cargas negativas de las pectinas, éstas precipitan.
- La viscosidad de la pectina, depende del tamaño de la molécula, la conformación temperatura. A mayor peso molecular, la viscosidad incrementa; la viscosidad también es influenciada por la presencia de polielectrolitos, puesto que afectan la conformación, el tamaño de la macromolécula y a la naturaleza de los contra iones, que actúa como un freno al flujo de los polímeros.
- 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 parcialmente debido a la tendencia de las pectinas a agregarse, aún bajo condiciones no favorables a la gelificación. (Avila & Cipiran, 1996)

### **6.3.3. Materiales seleccionados para la formulación de las películas y recubrimientos en el proyecto**

- **Pectina:** La pectina es un polisacárido que se encuentra presente en la pared celular de los tejidos de las plantas. Comercialmente es obtenida a partir de cascara de cítricos (limos, toronja, naranja, lima) provenientes de la industria juguera. La cascara fresca contiene del 2 al 4% de pectina, mientras que seca se llega a obtener del 20-40%. (Mamani, 2012)

El principal uso dado a la pectina es en la industria de los alimentos, para la elaboración de jaleas, mermeladas, jaleas instantáneas para pastelería, bebidas, cerezas artificiales, estabilizador de algunos productos lácteos y postres congelados. Recientemente se han utilizado en la elaboración de películas plásticas ya que esta les confiere mejores características físicas.

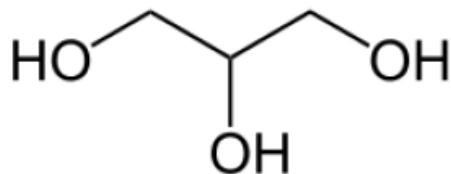
- **Glicerina:** El propanotriol, glicerol o glicerina es un alcohol con tres grupos hidroxilos –OH (Figura 5). Se trata de uno de los principales productos de la degradación digestiva de los lípidos, también aparece como un producto intermedio de la fermentación alcohólica. Además, junto con los ácidos grasos, es uno de los componentes de lípidos como los triglicéridos y los fosfolípidos. Se presenta en forma de líquido a una temperatura ambiental de 25 °C y es higroscópico e inodoro.

Posee un coeficiente de viscosidad alto y tiene un sabor dulce como otros polialcoholes. La glicerina se descompone al arder, en contacto con superficies calientes u oxidantes fuertes, bajo la influencia de sustancias higroscópicas, produciendo acroleína. Reacciona con oxidantes fuertes originando riesgo de incendio y explosión. Condiciones que deben evitarse, se descompone produciendo Monóxido de carbono.

Las mezclas que contienen glicerol tienen un aspecto morfológico suave y uniforme. En teoría deben tener un aspecto homogéneo final, esta característica es un claro indicador de que el almidón ha plastificado. Este componente presenta una gran utilidad para

retardar la retrogradación de los productos termos plastificados y su acción como lubricante facilita la movilidad de las cadenas poliméricas del almidón.

**Figura 7. Estructura molecular de la glicerina**



Fuente: Molécula de Glicerina (Química Orgánica, McMurry)

#### **6.3.4. Extracción de pectinas por el método hidrólisis ácida**

La extracción de pectinas por métodos convencionales se lleva a cabo a temperaturas cerca de los 90°C por al menos una hora. Las pectinas continuamente se extraen y separan de los desechos de diversos frutos mediante acidificación. Comercialmente usando ácidos como el cítrico, clorhídrico, fosfórico, nítrico o sulfúrico, se obtienen pectinas a altas temperaturas para hidrolizar la proto pectina. Después de concentrarlas, se precipita la pectina con la adición de alcohol, se seca, se granula y por último se tamiza. La extracción en soluciones acuosas ácidas no sensibles al calcio es apta para obtener pectinas. Y para obtener la pectina restante, cuando son sensibles al calcio, se realiza otra extracción con ácidos fuertes. También puede darse la extracción con soluciones neutras o básicas, pero no se conoce con certeza la concentración ideal con alcohol para su precipitación. (Ferreira, 2007).

### **6.4. SECADO**

#### **6.4.1. DEFINICIÓN Y PRINCIPALES CONCEPTOS**

El secado es una operación en la cual se elimina parcial o totalmente, por evaporación, el agua de un sólido o un líquido. El producto final es siempre sólido lo cual diferencia el secado de la evaporación. En esta última, aunque hay eliminación de agua, se parte siempre de un líquido para obtener un concentrado líquido. Aun cuando el objetivo principal no sea secar un alimento, el secado puede producirse cuando se efectúan otras operaciones de tratamiento o conservación, lo que implica simultáneamente una transferencia de calor y masa acompañada por un cambio



de fase. A continuación se describen los principales conceptos de la teoría del secado. (Chuta, 2017)

- **Humedad:** El contenido de humedad de un material se define por lo común como la cantidad de agua contenida por unidad de peso de sólido seco o húmedo.
- **Humedad en base húmeda:** El contenido de humedad en base húmeda es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido mojado.
- **Humedad de equilibrio ( $X^*$ ):** Cuando un sólido húmedo se pone en contacto con aire, de temperatura y humedad determinadas y constantes, se alcanzarán las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo. Se logran las condiciones de equilibrio cuando la presión parcial del agua que acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua en el aire.
- **Humedad crítica ( $X_c$ ):** Representa el contenido de humedad promedio cuando concluye el periodo de velocidad constante.
- **Humedad libre ( $X$ ):** Es el líquido que se puede separar a una temperatura y humedad dadas. Este valor llega a incluir tanto la humedad ocluida como la no ocluida (retenida).
- **Periodo de velocidad constante:** Corresponde al lapso de secado durante el cual la velocidad de eliminación de agua por unidad de superficie deseada es constante o uniforme.
- **Periodo de velocidad decreciente:** Se refiere al lapso de desecación durante el cual la velocidad instantánea de secado disminuye en forma continua.

## 6.5. CINÉTICA DE SECADO

La cinética de secado de un material no es más que la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este, como la propia humedad o las dimensiones del equipo. La intensidad de evaporación se determina a través de la velocidad de secado.

Es común determinar en laboratorio la variación de la humedad de la muestra con respecto al tiempo, bajo diversas condiciones operacionales, modificando la temperatura del aire de secado,

la humedad del mismo, la velocidad de circulación del aire. Así también se pueden modificar características de la muestra como su humedad inicial o su espesor.

A partir de las curvas de cinética de secado (Humedad (x) vs tiempo (t), dx/dt vs humedad (x), las cuales deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa además de la influencia que tiene en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc. (Chuta, 2017)

### 6.5.1. Velocidad de secado

Se define la velocidad de secado como la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial  $(-dX/d\theta)$  operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire a las condiciones de temperatura, presión, humedad y velocidad constantes en el tiempo.

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere por unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación.

$$W = \frac{S}{A} \left( -\frac{dX}{d\theta} \right) \dots\dots\dots\text{ecuación } (\alpha)$$

Dónde:

S = peso del sólido seco;

A =área de la superficie expuesta;

W =velocidad de secado;

$-dX/d\theta$  = diferencia de humedad respecto del tiempo.

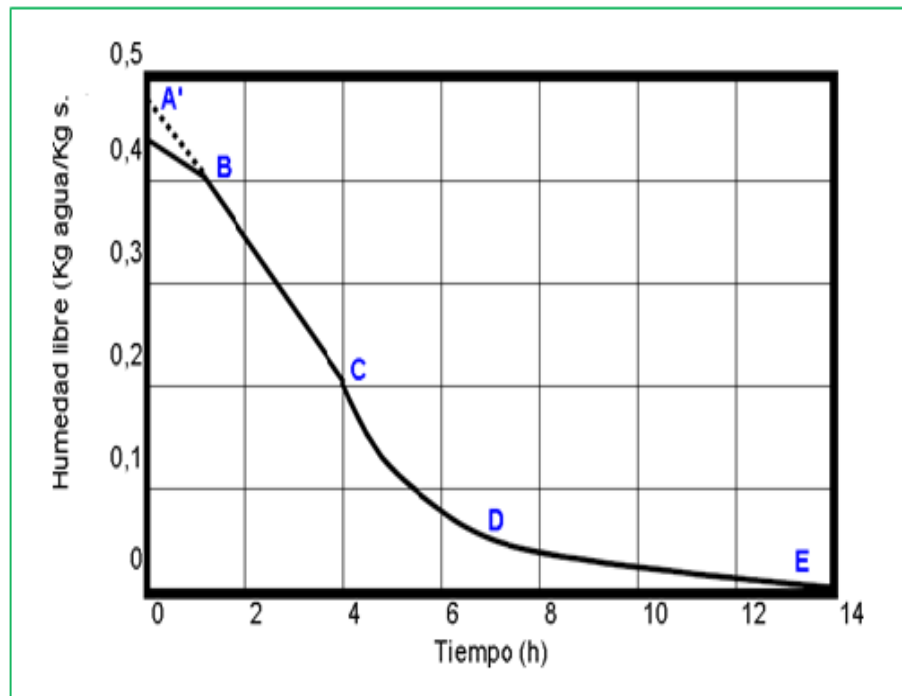
## 6.5.2. Curvas de secado

Las curvas de secado son construidas a partir de valores experimentales que correlacionan la variación de la humedad con el tiempo, dando información sobre la velocidad de secado de un producto bajo determinadas condiciones durante el proceso de secado.

### 6.5.2.1. Curvas de variación de humedad

Estas curvas se construyen a partir de los valores experimentales de pérdida de peso de la muestra respecto al tiempo, expresando este cambio en el peso como humedad libre de la muestra. La Figura 8. Representa la curva de variación de humedad en función del tiempo destacando sus principales etapas.

Figura 8 . Curva de tiempo de secado vs humedad



Fuente: Fundamentos de secado, (Geankoplis, 2009)

- **Etapa A-B: Período de calentamiento**

La masa de la muestra húmeda disminuye sólo un poco debido a la débil contribución del calor sensible a la evaporación de agua.

- **Etapa B-C: Período de velocidad constante.**

En él ocurre buena parte del secado y la pérdida de humedad es directamente proporcional al tiempo.

- **Etapa C-D: Primer período de velocidad decreciente.**

En esta etapa la humedad de la muestra disminuye menos rápido que en la región BC para incrementos de tiempo iguales. El punto C es el límite entre el período de velocidad constante y el de velocidad decreciente. La humedad para la cual se aprecia este límite se denomina humedad crítica ( $X_c$ ).

- **Etapa D-E: Segundo período de velocidad decreciente.**

En esta etapa la humedad de la muestra disminuye lentamente casi constante para incrementos de tiempos iguales. La humedad para la cual se aprecia este límite se denomina humedad en equilibrio ( $X_e$ ).

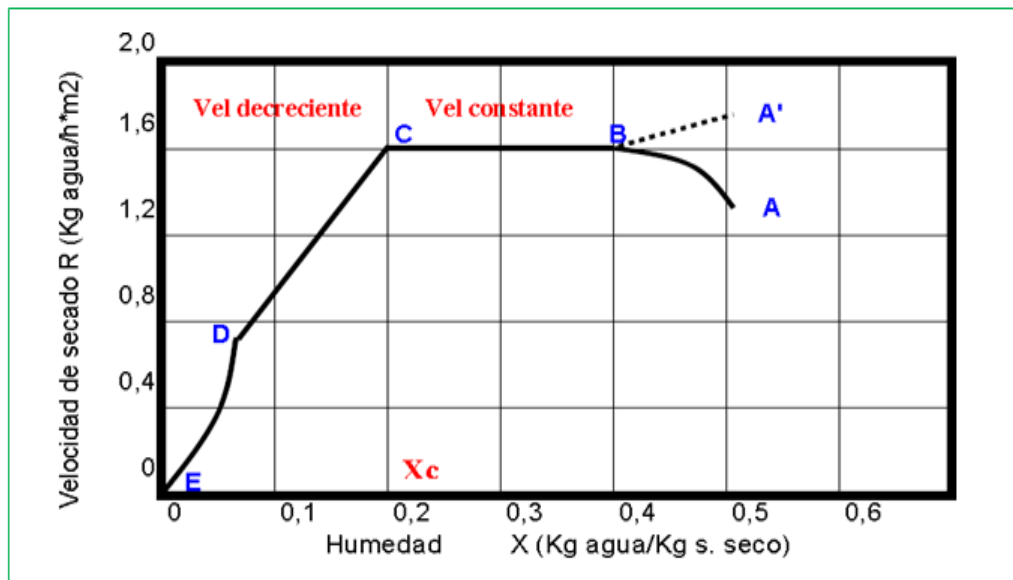
#### **6.5.2.2. Curvas de velocidad de secado**

Se define la velocidad de secado como la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ( $-dX/dt$ ) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire a las condiciones de temperatura, presión, humedad y velocidad constantes en el tiempo.

Estas curvas se construyen a partir de la conversión de los valores experimentales de variación de humedad a velocidad de secado, expresado como  $N$  (Kg de humedad evaporada/  $h \cdot m^2$ ), y se lleva a un gráfico en función del contenido de humedad.

La Figura 9. Representa la curva de velocidad de secado en función de la humedad destacando sus principales etapas.

**Figura 9 . Curva de velocidad de secado vs humedad**



Fuente: Fundamentos de secado, (Geankoplis, 2009)

Generalmente se pueden apreciar dos partes notorias de la curva de velocidad de secado: un período de velocidad constante y uno de velocidad decreciente, aunque teóricamente existen o se puede apreciar tres etapas del proceso o períodos de secado.

- **Etapa A-B: calentamiento inicial**

Normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa la muestra se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio, el cual se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.

- **Etapa B-C: período de velocidad de secado constante**

También llamado primer período de secado; donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. En este período el sólido tiene un comportamiento no higroscópico. La velocidad de secado se mantiene constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Si durante el proceso, el gas se enfría, la velocidad de secado decrece, pero sigue en esta zona dependiendo de factores externos de la muestra. Durante este período la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento.

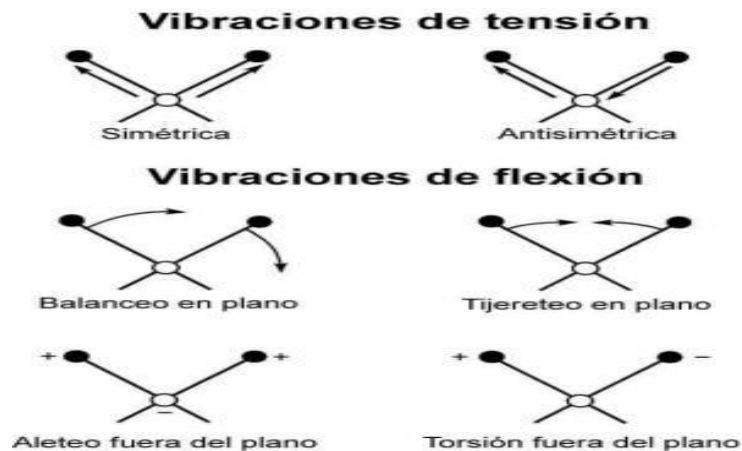
- **Etapa C-E: período de velocidad de secado decreciente**

Es el segundo período de secado donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente. En estas condiciones la muestra tiene un comportamiento higroscópico. Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. Ahora la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación. (Chuta, 2017)

## 6.6. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (IR)

Se fundamenta en la absorción de la radiación IR por las moléculas en vibración. Una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional de la molécula. Es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja. Pueden distinguirse dos categorías básicas de vibraciones: de tensión y de flexión. Las vibraciones de tensión son cambios en la distancia interatómica a lo largo del eje del enlace entre dos átomos. Las vibraciones de flexión están originadas por cambios en el ángulo que forman dos enlaces. En la Figura 10 se representan los diferentes tipos de vibraciones moleculares. (Rubinson K.A., 2000)

**Figura 10. Vibracion Molecular**



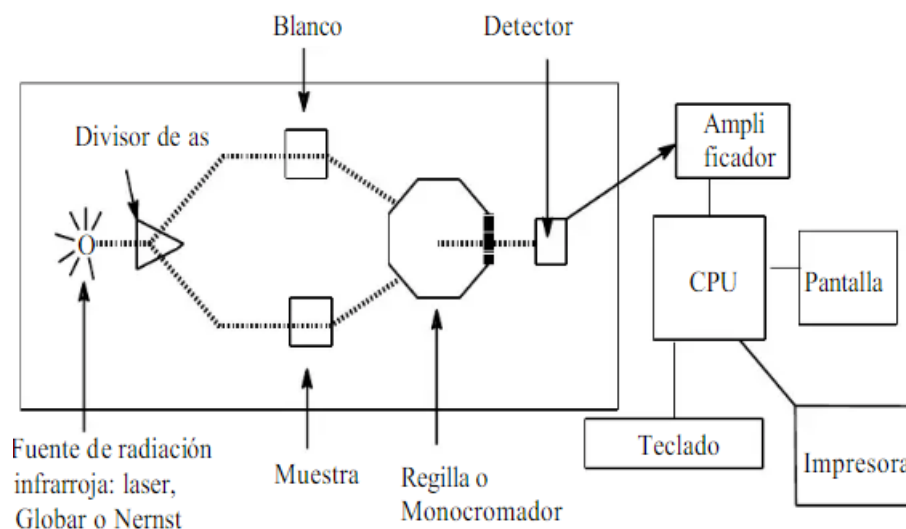
Fuente: Vibraciones moleculares (Rubinson K.A., 2000)

En principio, cada molécula presenta un espectro IR característico (huella dactilar), debido a que todas las moléculas (excepto las especies diatómicas homo nucleares como O<sub>2</sub> y Br<sub>2</sub>) tienen algunas vibraciones que, al activarse, provocan la absorción de una determinada longitud de onda en la zona del espectro electromagnético correspondiente al infrarrojo. De esta forma, analizando cuáles son las longitudes de onda que absorbe una sustancia en la zona del infrarrojo, podemos obtener información acerca de las moléculas que componen dicha sustancia. (Martínez J. L., 2009)

### 6.6.1. Partes de un Espectrofotómetro Infrarrojo

Los espectrofotómetros utilizados para la obtención del infrarrojo medio y cercano consisten de una fuente de luz, monocromador o interferómetro y detector, los cuales permiten la obtención de espectros en la región comprendida entre 780 nm a 25000 nm (12800 cm<sup>-1</sup> a 400 cm<sup>-1</sup>). Actualmente, los espectrofotómetros de infrarrojo utilizan un interferómetro en lugar de un monocromador en cuyo caso la radiación policromática incide sobre la muestra y los espectros son obtenidos en el dominio de la frecuencia con ayuda de la transformada de Fourier. (Mercosur, 2015)

**Figura 11. Espectrofotómetro Infrarrojo**



Fuente: partes de un espectrofotómetro infrarrojo (Vik, 2019)

## 6.7. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

El microscopio electrónico de barrido (SEM en inglés) es un microscopio electrónico que permite observar la superficie de las muestras que sólo deben de cumplir el requisito de ser conductoras (por lo que es habitual la cobertura de la muestra con metales conductores como el oro). La imagen se obtiene debido a la detección de los electrones “devueltos” de la muestra, posteriormente al impacto de los electrones proyectados desde el cañón electrónico. (Bozzola & Rusell , 2000)

Su funcionamiento se basa en barrer un haz de electrones sobre un área del tamaño que deseemos (aumentos) mientras en un monitor se visualiza la información que hayamos seleccionado en función de los detectores. El microscopio electrónico de barrido, Instrumento que permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señal que se generan desde la muestra y se utilizan para examinar muchas de sus características. Con él se pueden realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de los distintos materiales con los que trabajan los investigadores de la comunidad científica y las empresas privadas, además del procesamiento y análisis de las imágenes obtenidas. (Rodríguez, 2019)

### 6.7.1. Partes del Microscopio Electrónico de Barrido

Las partes principales de un microscopio electrónico de barrido incluyen aquellos elementos utilizados para generar electrones y dirigirlos hacia la muestra. Esto incluye:

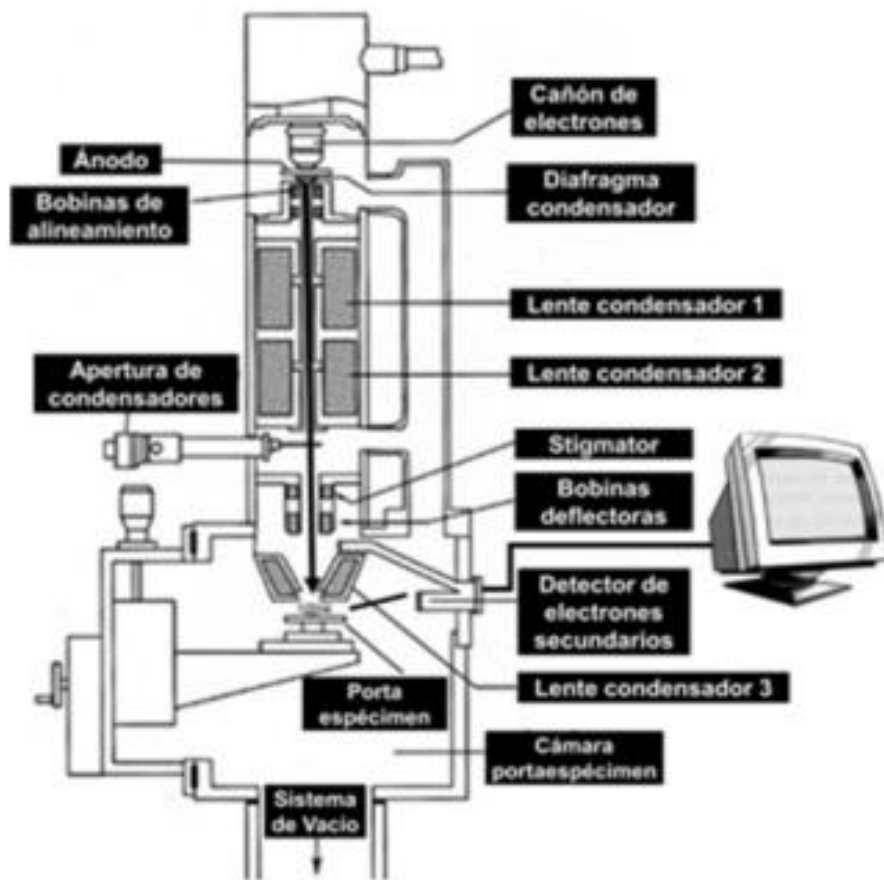
- **Cañón de electrones:** Se trata de un filamento de tungsteno, hexaboruro de lantano o un emisor de efecto de campo.
- **Ánodo acelerador de electrones:** Conectado a una fuente de alta tensión.
- **Lentes magnéticas:** Dirigen el haz de electrones.
- **Portaobjetos:** Donde se coloca la muestra con su preparación.
- **Generador de barrido:** Dirigen el haz de electrones en su recorrido sobre la superficie de la muestra.



- **Detectores de electrones:** También denominados colectores de electrones. Recogen los electrones de la muestra.
- **Sistema de vacío:** Siempre fundamental en los microscópicos electrónicos como ya hemos comentado.
- **Amplificador:** Amplía la imagen y la muestra por pantalla, que generalmente suele ser un ordenador.

La funcionalidad del microscopio electrónico de barrido depende del número de detectores de electrones que tenga. (Fernandez, 2018)

**Figura 12. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)**



Fuente: Esquema de un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) (Correa Guerrero , 2014)

### **6.7.2. Condiciones para analizar muestras en un SEM**

Se requieren dos condiciones para analizar muestras en un SEM: que se encuentren libres de humedad y sean conductoras. En estos microscopios las muestras no conductoras (orgánicas, biológicas, vidrios, polímeros) necesitan una cubierta metálica para lograr su observación, generalmente una cubierta de oro, o con carbono cuando se quiere realizar análisis químico por EDS. Por otro lado, las muestras conductoras pueden ser revisadas sin ningún tipo de cubierta. (Saito, 2011)

## **CAPÍTULO III**

### **7. METODOLOGÍA**

#### **7.1. UNIDAD DE ANÁLISIS**

Se trabajará en las siguientes unidades de análisis:

- Laboratorios de la carrera de Química Industrial de la UMSA, en donde se cuenta con equipos y materiales para investigaciones y proyectos.
  - ✓ Obtención de pectinas por el método de hidrólisis acida.
  - ✓ Equipos de secado para el estudio de cinética de secado de las películas comestibles.
- Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente (IIGEMA) dependiente de la carrera de Ciencias Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Lugar en donde se cuenta con un microscopio electrónico de barrido en coordinación con el responsable de la unidad Ingeniero Mario Blanco.
  - ✓ Caracterización estructural por microscopia electrónica de barrido de las películas comestibles.
- Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ) dependiente de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Lugar en donde se cuenta con el equipo de espectroscopia infrarrojo coordinación con el responsable de la unidad Ph. D. José Luis Vila Castro.
  - ✓ Identificación de grupos funcionales de la pectina por espectrofotometría infrarrojo.

#### **7.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación de este proyecto es de carácter experimental ya que se parte de una formulación de materiales basada en revisiones bibliográficas, seguida de un trabajo práctico donde se aplica una serie de técnicas de laboratorio para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles a base de pectina. A lo largo del proceso se manipulan variables en condiciones controladas con la finalidad de describir las observadas y generar conclusiones con los resultados.

## **8. MARCO EXPERIMENTAL**

### **8.1. MATERIALES DE LABORATORIO**

- Vasos de precipitado de 600 mL
- Vasos de Precipitado de 1000 mL
- Embudos gravimétricos
- Matraz Erlenmeyer 250mL
- Vidrio de Reloj
- Pipetas graduadas 10 mL
- Pipetas graduadas 1 mL
- Probetas 100 ml
- Bureta 50mL
- Fuentes de Calor (hornillas eléctricas)
- Matraz aforado de 50 ml
- Termómetro de 100° C
- Bandejas de acero inoxidable
- Cajas Petri
- Vernier
- Mortero de porcelana
- Mortero de ágata
- Pinza metálica
- Porta muestra de cobre

### **8.2. EQUIPOS DE LABORATORIO**

- Estufa se secado
- Balanzas de precisión
- Agitador magnético con calentador eléctrico
- Refractómetro de 0 - 50
- Espectrofotómetro infrarrojo
- Microscopio electrónico de barrido (SEM)

- Sputter Cuater

### 8.3. REACTIVOS

- Agua Destilada
- Pectina cítrica (naranja y toronja)
- Glicerina
- Ácido clorhídrico
- Hidróxido de sodio
- Fenolftaleína
- Alcohol al 75%

### 8.4. RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA

Para el desarrollo de la investigación se tomaron las siguientes variables: variedad de materia prima, grado de madurez de materia prima y estado físico de la materia prima.

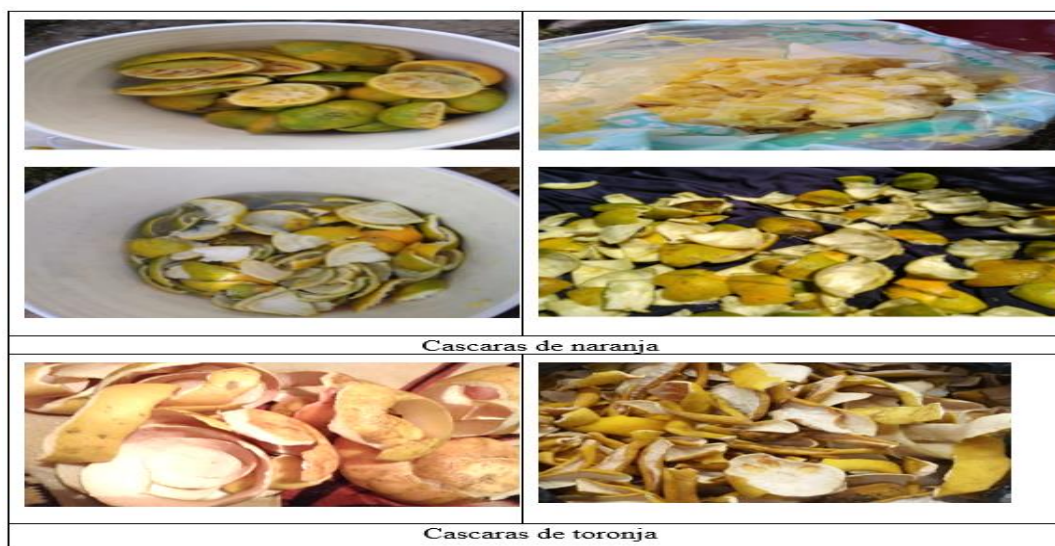
El acopio de la materia prima en este caso cascaras de naranja y toronja fueron recolectados en el mes de junio de 2019 de la feria 16 de julio y la ceja de la ciudad de El Alto, provenientes de la extracción de jugos para su venta. Como se puede ver la Imagen 1.



**Imagen 1. Recolección de cascaras de naranja y toronja**

### 8.4.1. Acondicionamiento de la materia prima

Se procedió a retirar de las cascaras (naranja y toronja), todas las partes dañadas y la basura existente, en el caso de las naranjas se deben retirar la parte de septos y el eje central, como se muestra en la Imagen 2. A continuación, se lavó inicialmente con agua potable seguidamente se realizó la inactivación enzimática para cada una de las cascaras, en relación de 1 kg de cascara por 5 L de aguas haciéndolo hervir por un tiempo de 10 min.



**Imagen 2. Limpieza de las cascaras**

Una vez tratada la materia prima se procedió a cortar en trozos pequeños para el secado de las mismas. Como se puede ver en la Imagen 3.

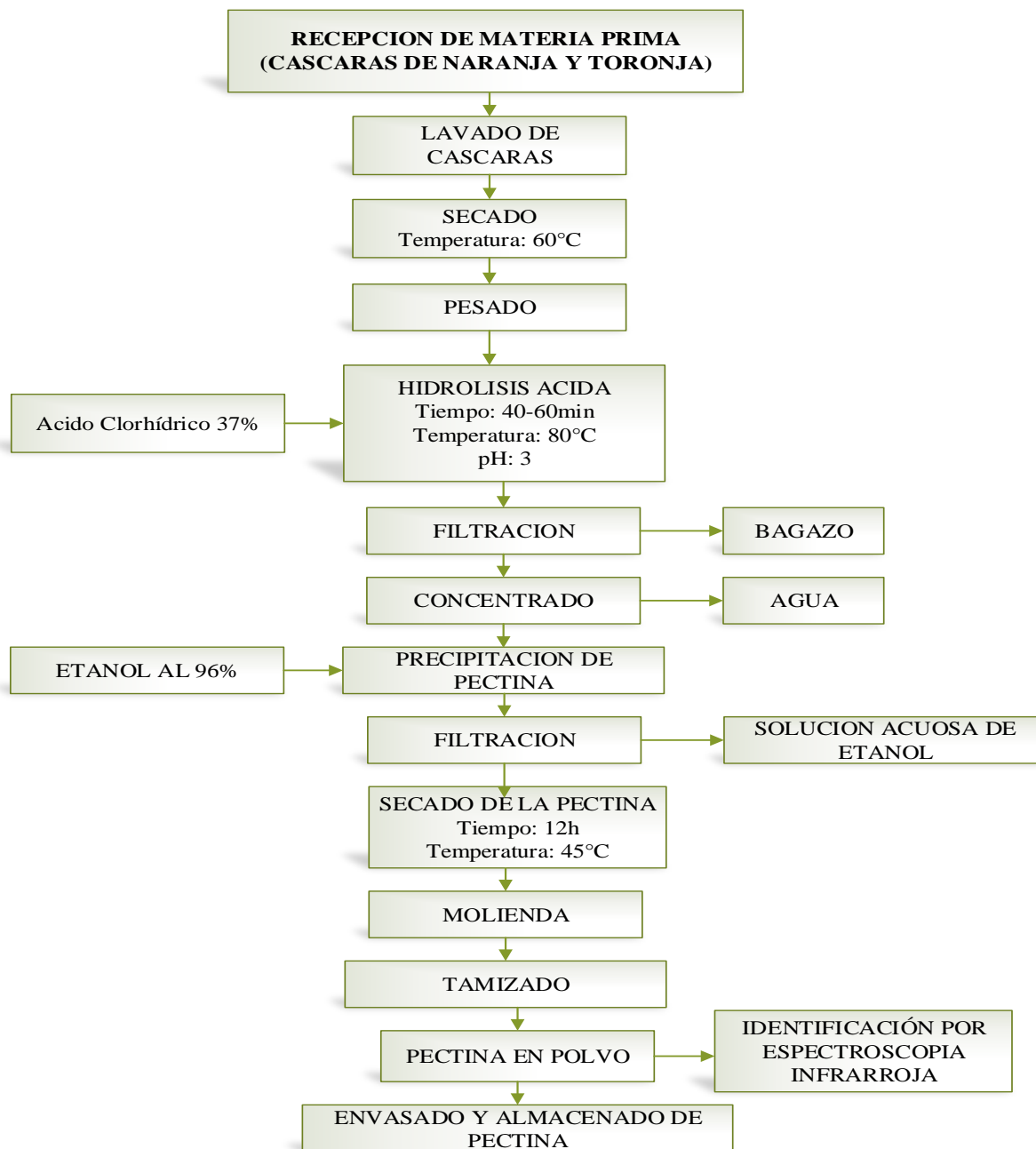


**Imagen 3. Secado de las cascaras**

## 8.5. EXTRACCIÓN DE PECTINA

A continuación, se presenta el diagrama de extracción de pectina a partir de cascaras de naranja y toronja realizados en laboratorio de química industrial. (ver Figura 13)

Figura 13. Diagrama de extracción de pectinas por hidrolisis acida



Fuente: elaboración propia

### 8.5.1. Descripción del proceso de obtención de pectina

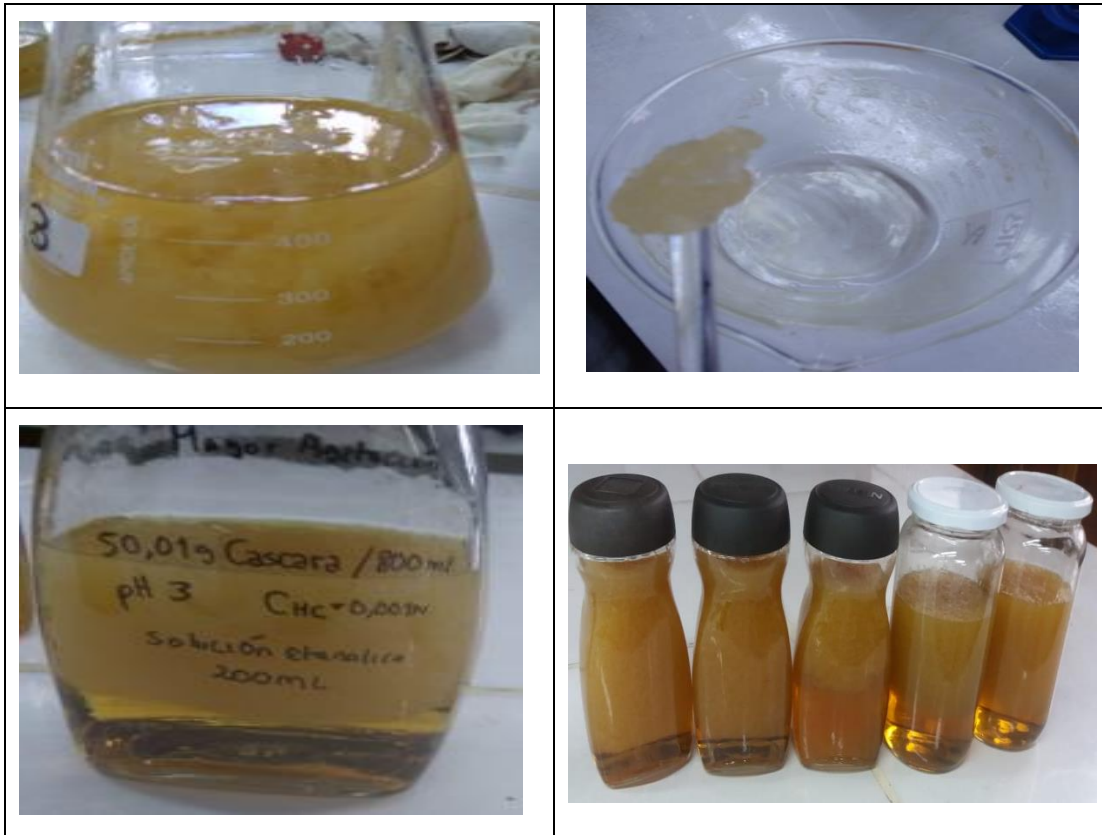
- **Hidrólisis ácida:** se pesaron 50 gr de cascaras secas en un vaso de precipitado de 1000 ml adicionándole 600 ml de agua acidulada cuyo pH es de 3, se sometió a calentamiento con una placa agitadora con temperatura, con 300rpm a 80 °C durante una hora. Como se puede ver en la Imagen 4. Para el cálculo del rendimiento se trabajó con cinco muestras en las mismas condiciones de temperatura, masa y pH.



**Imagen 4. Hidrolisis acida de las cascaras de naranja**

- **Primera filtración:** luego del hidrolisis, se procede a separar la cascara de la solución con la ayuda de una coladera, a continuación, se filtra la solución en una tela para la eliminación de partículas pequeñas que pudiese contener la misma.
- **Concentrado:** se procede a concentrar la solución obtenida, donde se evapora parte del agua de la solución filtrada reduciendo su volumen a la mitad, de esta manera obtendremos una solución concentrada. Para posteriormente ser enfriadas a 25 °C.
- **Precipitación:** en esta etapa para la precipitación de las pectinas se empleó alcohol de 96 °GL. el cual es adicionado relación 2:1 en V/V de la solución obtenida, dejar reposar por 24 hr en frascos de vidrio. cómo se observa en la Imagen 5.





**Imagen 5. Precipitación de la pectina**

- **Segunda filtración:** la pectina precipitada es separada del alcohol mediante filtros de lienzo, el alcohol utilizado es destilado para darle un uso posterior.



**Imagen 6. Filtración de la pectina**

- **Lavado:** las pectinas precipitadas fueron lavadas con el alcohol recuperado, con el fin de eliminar impurezas en el precipitado. La cantidad de alcohol utilizado debe ser suficiente para cubrir el precipitado (pectina).

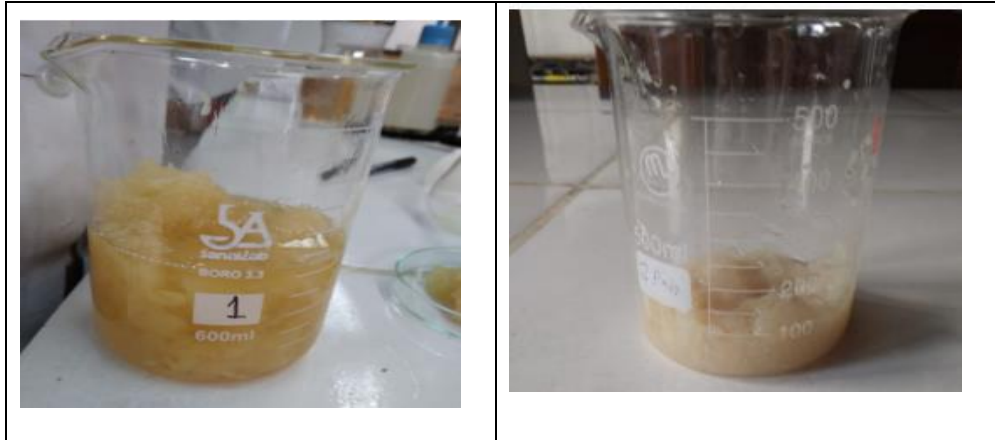


Imagen 7. primer y segundo lavado de la pectina

- **Secado y triturado:** la pectina es secado en cajas Petri por 12 horas a 45 °C, luego se procede a triturar la pectina seca hasta obtener un polvo fino.

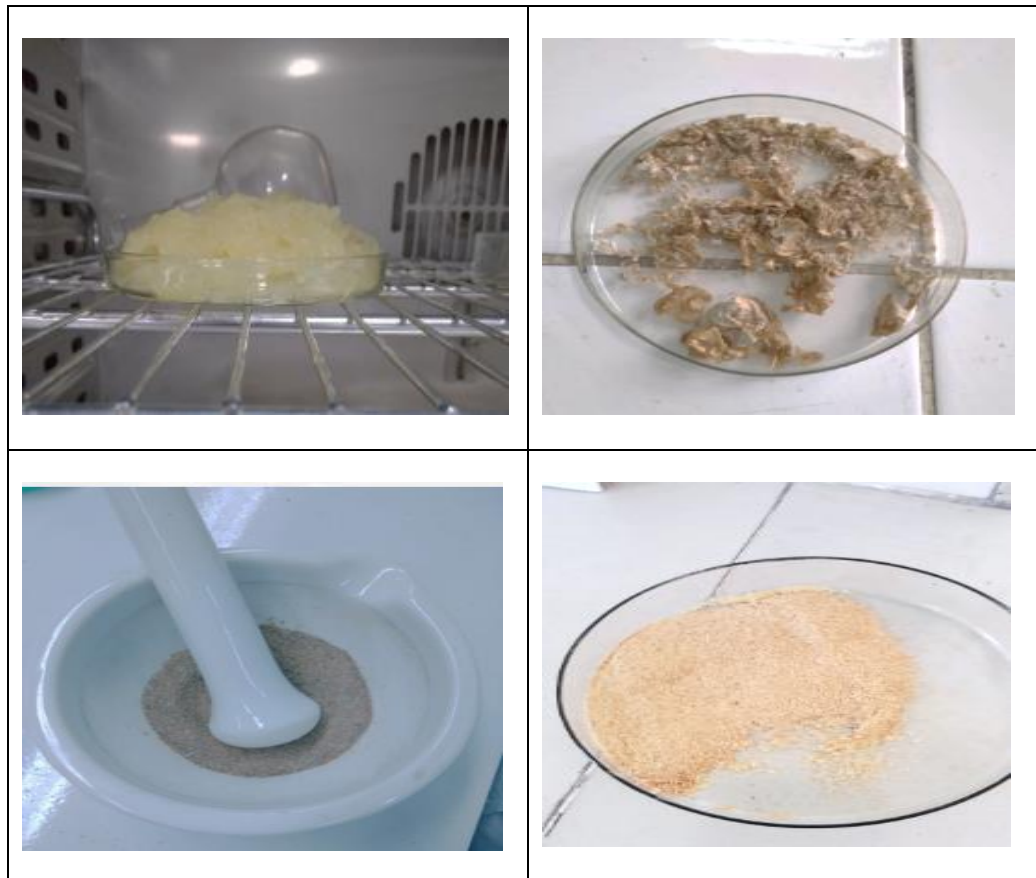
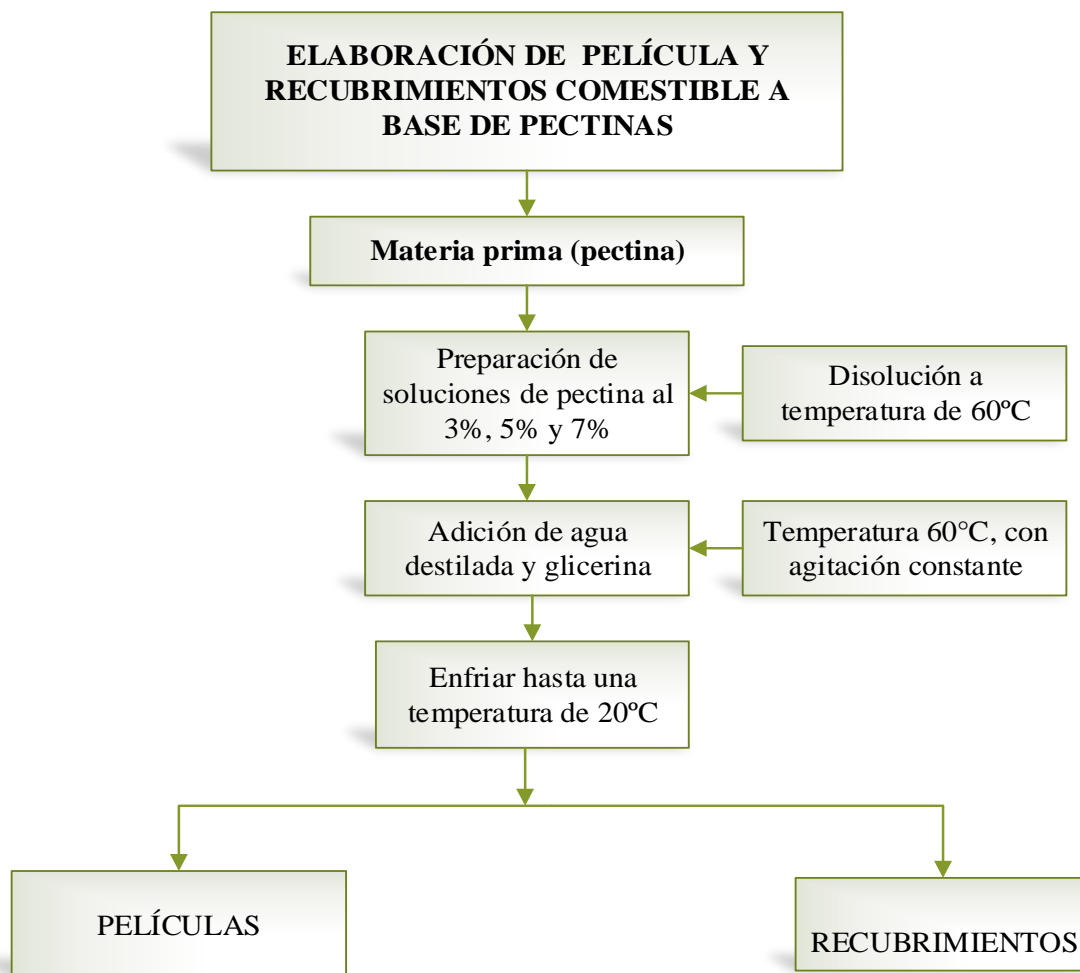


Imagen 8 .Secado de pectina

## 8.6. ELABORACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

A continuación, se muestra el diagrama para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles. (ver Figura 14)

Figura 14. Diagrama de elaboración de películas y recubrimientos comestibles



Fuente: Elaboración propia

### 8.6.1. Descripción de la preparación de soluciones de pectina para películas y recubrimientos

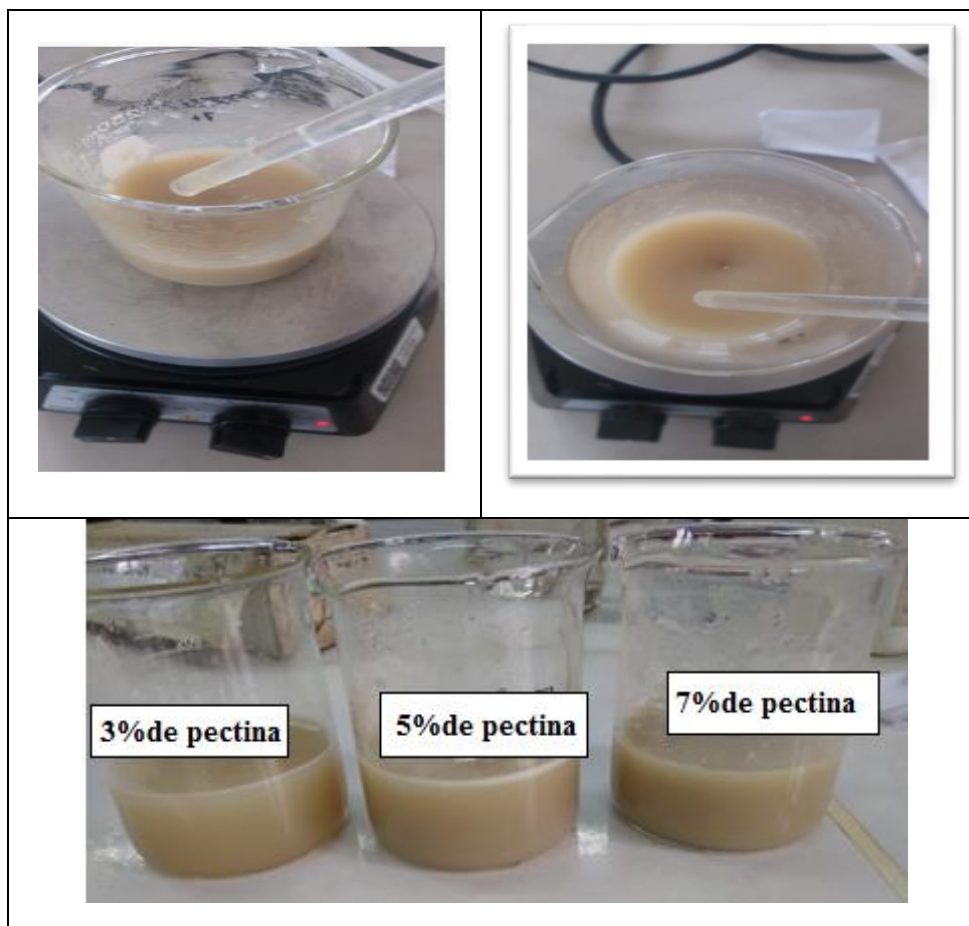
En un vaso de 250 ml se adiciona 75 ml de agua se procede a calentar a una temperatura de 60 °C se adicionan a las pectinas cuyos porcentajes de pectina están especificados en la Tabla 1. Se agita con ayuda de un agitador magnético con calefacción, hasta que la mezcla sea homogénea, luego se adiciona 5 ml de glicerina a la mezcla y se agita por 3 minutos, en seguida se adiciona

20 ml de agua destilada y de igual manera se deja por 3 minutos, se procede a enfriar la mezcla a una temperatura de 20°C.

**Tabla 1. Formulaciones de películas y recubrimientos comestibles**

<b>Película y recubrimiento</b>	<b>Solución de Pectina al 3% Cantidad (mL)</b>	<b>Solución de Pectina al 5% Cantidad (mL)</b>	<b>Solución de Pectina al 7% Cantidad (mL)</b>	<b>Glicerina Cantidad (mL)</b>	<b>Agua Cantidad (mL)</b>
Pectina cítrica - agua-glicerina	75	-	-	5	20
Pectina cítrica - agua-glicerina	-	75	-	5	20
Pectina cítrica al- agua-glicerina	-	-	75	5	20

Fuente: Elaboración propia

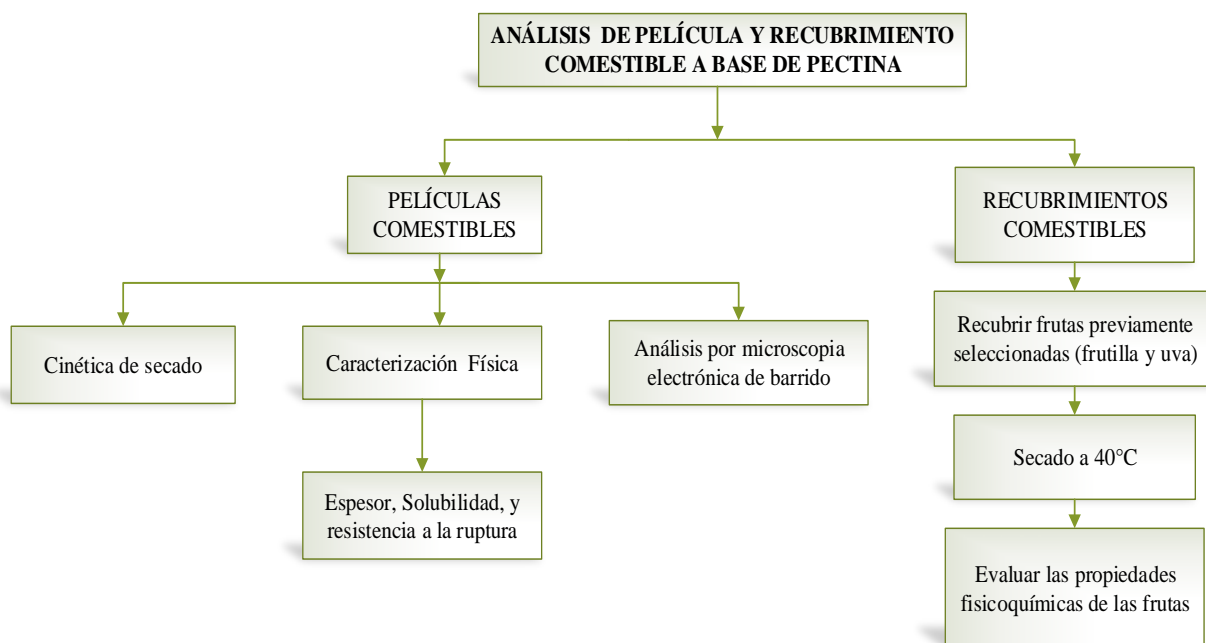


**Imagen 9. Preparación de soluciones de pectina**

## 8.7. ANÁLISIS DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS

A continuación, se muestra el diagrama de análisis de películas y recubrimientos comestibles que se realizaron en laboratorio. (Ver Figura 15)

**Figura 15. Diagrama de análisis de películas y recubrimientos comestibles**



Fuente: elaboración propia

### 8.7.1. Análisis de las Películas Comestibles

#### 8.7.1.1. Cinética de secado de las películas comestibles.

La determinación de cinética de secado se realizó para las tres soluciones (pectina al 3%, 5% y 7%), se utilizó una estufa de secado con controlador de temperatura y tiempo, las soluciones de las películas se dispuso en bandejas de aluminio (ver Imagen 10), las medidas de las bandejas son (17x20cm) y se sometieron a secado a una temperatura de 40°C determinando el peso de las placas cada 10 minutos hasta un peso constante, tiempo en el cual se retiraron las bandejas, para la determinación de la humedad y la velocidad de secado. Los datos experimentales se muestran en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

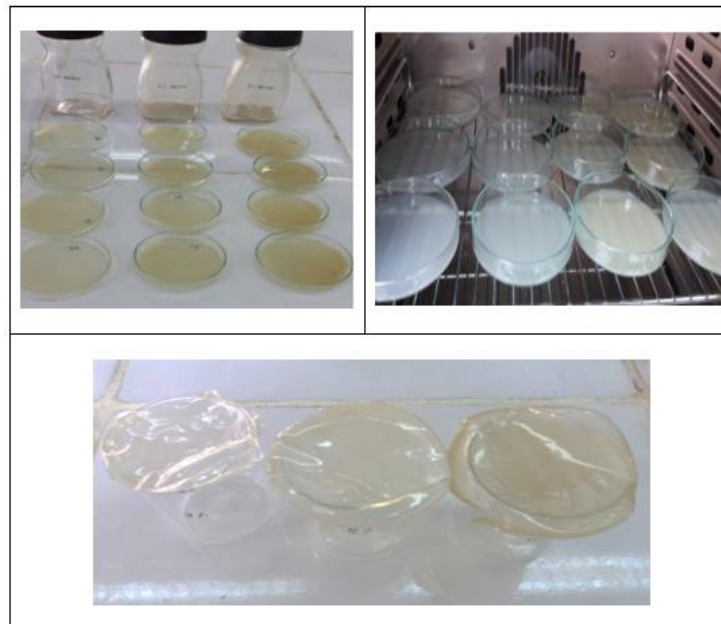


**Imagen 10. Cinética de secado de las películas comestibles**

Para los cálculos de la humedad y velocidad de secado se usarán las ecuaciones que se muestran en el Anexo 3.

#### **8.7.1.2. Caracterización de las propiedades físicas de las películas comestibles**

Para la caracterización de las propiedades físicas de las películas se procedió a verter en cajas petri las diferentes preparaciones de soluciones de pectina para luego ser secadas por completo a una temperatura de 40°C hasta peso constante las cuales se disponen para el análisis.



**Imagen 11. Películas comestibles para la caracterización de las propiedades físicas.**

- **Espesor**

Para medir el espesor se toman 10 posiciones aleatorias para cada una de las películas utilizando un Micrómetro digital. El promedio de las diez replicas fue considerado el espesor final expresada en mm.



**Imagen 12. Medida de espesor de las películas comestibles**

- **Solubilidad en agua**

Las muestras de películas son cortadas en círculos de 5 cm de diámetro. Posteriormente sumerge las muestras en 100 mL de agua destilada por 24 h. Finalmente, las películas remanentes serán recuperadas por filtración y secadas a 100 °C en estufa a fin de determinar la masa seca no solubilizada.

La solubilidad en agua de las películas se reporta como porcentaje de solubilidad mediante la ecuación.

$$\% \text{Solubilidad} = \frac{P_I - P_F}{P_I} * 100 \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$P_I$ = Masa inicial de la película (g)

$P_F$ = Masa seca no solubilizada (g)

- **Prueba de resistencia**

Se tomó una película de cada formulación, a continuación, se cortaron en forma de rectángulos de dimensiones 10cm por 5cm, colocando un contrapeso al extremo inferior

de cada película, (ver Figura 16) hasta que llegue a su punto de quiebre aplicando una masa máxima de soporte.

Se determinó la fuerza necesaria para romper la película aplicando la siguiente ecuación.

$$\text{Fuerza} = \text{masa máxima de soporte} * \text{gravedad} \dots\dots\dots (2)$$

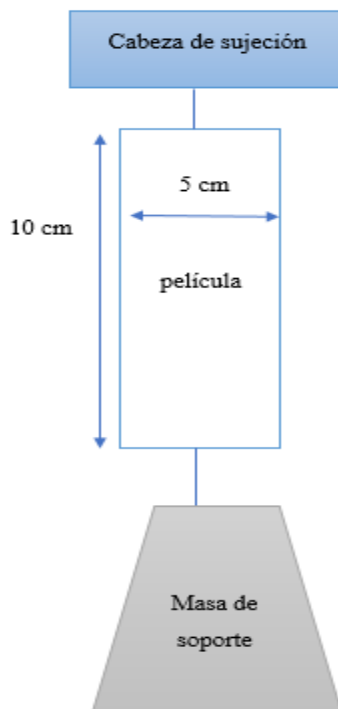
Dónde: la gravedad en la ciudad de La Paz es de 9,78m/s<sup>2</sup>

Tensión mecánica de la película se calcula empleando la siguiente ecuación

$$T = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}} \dots\dots\dots (3)$$

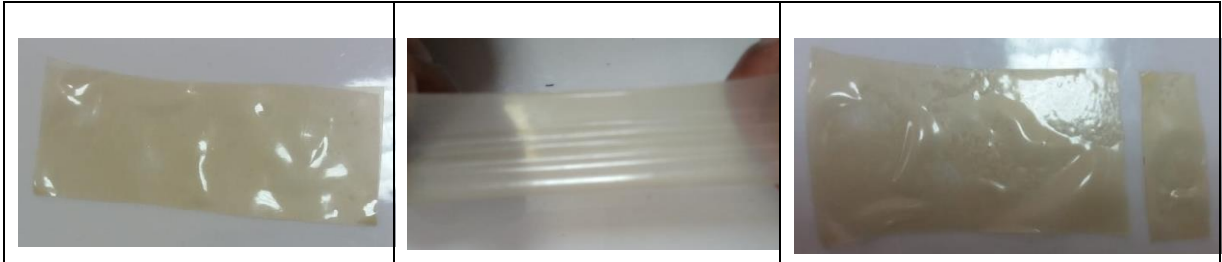
Dónde: T es la tensión mecánica expresada en unidades de presión, en MPa y A representa el área de trabajo expresado en m<sup>2</sup>.

**Figura 16. Esquema de para la determinación de resistencia a la ruptura**





Determinación de la máxima elongación de rotura de las películas: Para determinar la elongación se toma una película de cada una de las concentraciones y se mide su longitud inicial ( $L_0$ ), estirar la película hasta llegar al punto de ruptura ( $L$ ). (ver Imagen 13)



**Imagen 13. Elongación de la película comestible**

Para el cálculo de la elongación se aplicará la siguiente ecuación:

$$\%L_{Elongacion} = \frac{L-L_0}{L_0} * 100 \dots\dots\dots (4)$$

Determinar el módulo de Young del producto aplicando la ecuación:

$$E = \frac{T}{\Delta L/L} \dots\dots\dots (5)$$

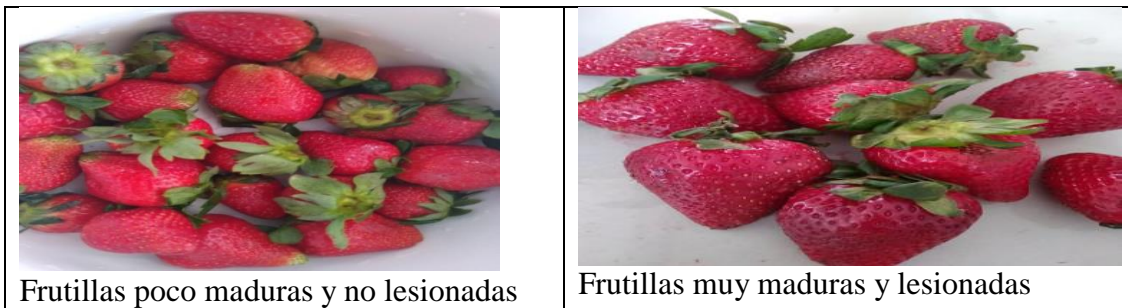
Dónde: E es el módulo de Young de la película comestible, este valor se encuentra expresado en MPa.

## **8.7.2. Análisis de los Recubrimientos Comestibles en frutas**

### **8.7.2.1. Selección de frutas para recubrimiento**

Las frutas (frutillas y uvas) se compraron del mercado Sopocachi las cuales el mismo día de la compra se llevaron al laboratorio de Química Industrial para la evaluación, selección y posterior recubrimiento.

- **Frutilla:** se utilizaron frutillas de tamaño mediano descartándose las frutillas dañadas y de característica no uniforme, como se muestra en la Imagen 14.



**Imagen 14. Selección de frutillas**

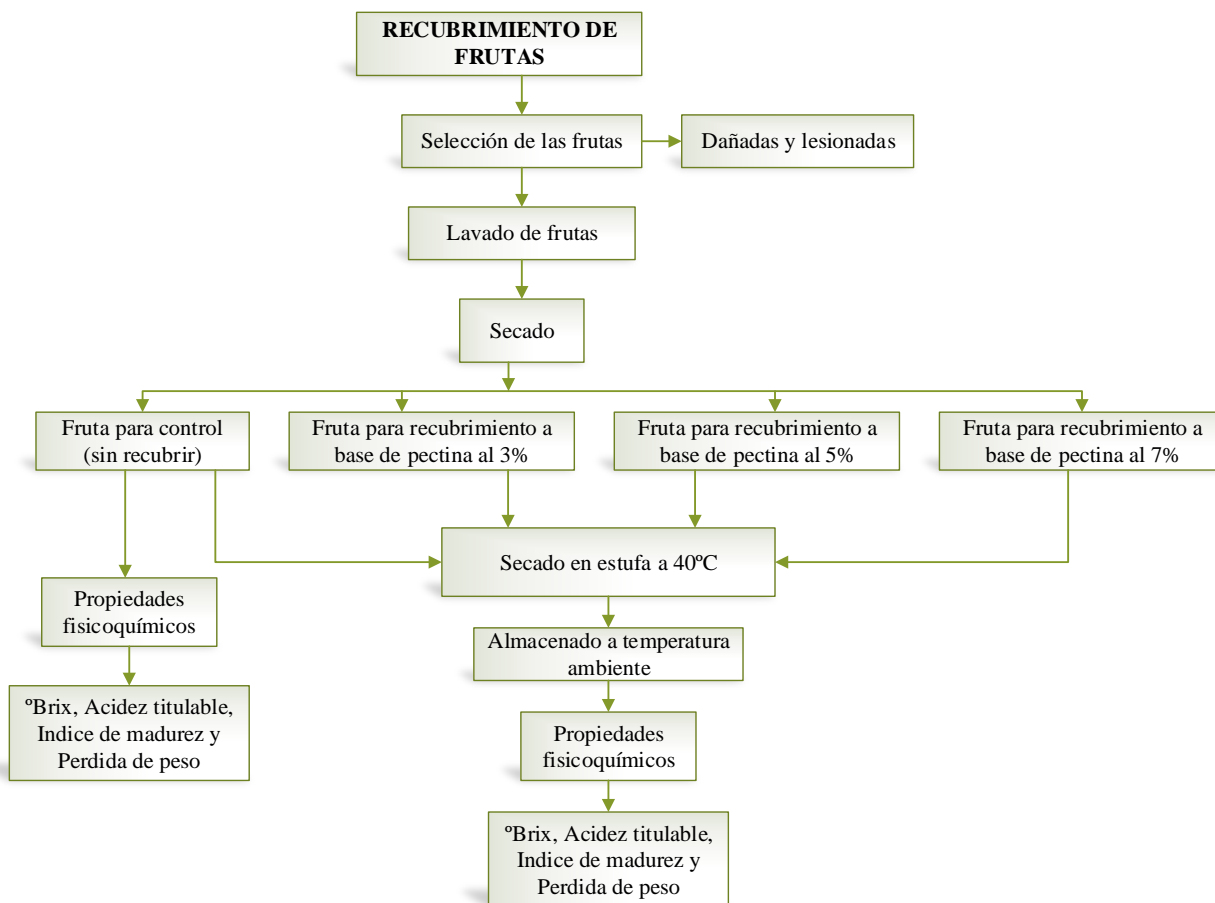
- **Uvas:** Del racimo de uvas se toma en cuenta los granos que aparentemente no cuentan con daños ni que sean muy maduras, como se muestra en la imagen 15.



**Imagen 15. Selección de uvas**

### 8.7.2.2. Aplicación de recubrimientos en las frutas

Figura 17. Diagrama de recubrimiento a base de pectina en frutas



Fuente: Elaboración propia

#### 8.7.2.2.1 Recubrimiento en frutilla

Las frutillas seleccionadas fueron lavadas con agua y secadas en laboratorio, se procedió a dividir las frutillas en cuatro partes iguales para realizar el recubrimiento, una parte de la frutilla es para el control (sin recubrir) y las demás son sumergidas en las tres formulaciones distintas de recubrimiento a base pectina al 3%, 5% y 7%. Los recubrimientos se aplicaron por inmersión de la frutilla durante 1 min y su exceso se eliminó por escurrido. (Ver Imagen 16). Las frutillas recubiertas y la de control pasaron por la estufa de secado a 40°C hasta secar completamente el recubrimiento, y se almacenaron por 8 días a temperatura ambiente.



**Imagen 16. Frutilla sin recubrir y con recubrimiento**

#### **8.7.2.2.2 Recubrimiento en uva**

Las uvas seleccionadas fueron lavadas en con agua de grifo en laboratorio y posteriormente secada al ambiente, se tomaron cuatro partes iguales sin quitar el tallo de la uva, una para el control (sin recubrir) y las demás tres para el recubrimiento de las distintas formulaciones de recubrimientos a base de pectina de 3%, 5% y 7%. Los recubrimientos se aplicaron por inmersión del fruto durante 1 min y su exceso se eliminó por escurrido. Las uvas recubiertas y la de control pasaron por la estufa de secado a 40°C hasta secar completamente el recubrimiento, y se almacenaron por 26 días a temperatura ambiente.



**Imagen 17. Uvas sin recubrir y con recubrimiento**

### 8.7.2.3. Caracterización de las propiedades físico-químicas de las frutas con recubrimiento

La caracterización físico – química de las frutas con recubrimientos se realizó en la carrera de Química Industrial, donde se analizó las siguientes propiedades.

#### ✓ **Propiedades Físicas**

Pérdida de peso (% de pérdida de peso)

#### ✓ **Propiedades Químicas**

Sólidos solubles (°Brix)

Acidez (% ácido cítrico)

Índice de madurez

#### • **Pérdida de peso**

La pérdida de peso se determina pesando la fruta a diario en el caso de las frutillas y cada dos días para el caso de las uvas, los resultados se expresaron en porcentaje de pérdida de peso utilizando la fórmula:

$$\%PP = \frac{P_m - P_i}{P_i} * 100 \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

%PP= Porcentaje de pérdida de peso

P<sub>m</sub>= Peso medido al día

P<sub>i</sub>= Peso inicial

#### • **Acidez titulable**

Se evalúa la acidez titulable por titulación con NaOH 0,1N y fenolftaleína como indicador, la acidez se expresa como porcentaje de ácido cítrico para la frutilla y como ácido málico para la uva; se toma 5 mL de jugo y se titula hasta que el indicador cambie de color. La acidez del producto se expresa como el porcentaje de peso del ácido que se encuentra en la

muestra. El cálculo de la acidez titulable se efectúa mediante la siguiente fórmula (g/100ml muestra):

$$\%Acidez = \frac{A*B*C}{D} * 100 \dots \dots \dots (7)$$

Dónde:

A: Cantidad en mL de base o NaOH gastado.

B: Normalidad de la base usada en la titulación (0.1 N).

C: Peso equivalente expresado en gramos de ácido predominante de la fruta.

(Ácido cítrico =0.064, ácido málico= 0.07)

D: Volumen de la muestra en mL

Parámetro evaluado después de 5 días de almacenamiento en el caso de las frutillas y para las uvas después de 26 días de almacenamiento.

- **Sólidos solubles:** al jugo homogenizado de la frutilla y la uva se determina el contenido de sólidos solubles con un refractómetro previamente calibrado en cero. La lectura se obtiene en grados Brix. Este parámetro se determina al finalizar los 5 días para la frutilla y 26 días para la uva.
- **Índice de madurez:** Para la determinación del índice de madurez se evalúa los sólidos solubles y la acidez titulable de los frutos. El índice de madurez fue el resultado de la siguiente ecuación:

$$IM = \frac{Solidos\ solubles(^{\circ}Bx)}{Acidez (\%Ac\ Citrico)} \dots \dots \dots (8)$$

#### 8.7.2.4. Evaluación de las propiedades organolépticas de la frutilla y uva con recubrimiento comestible

Las pruebas sensoriales se realizaron en las instalaciones de la carrera de química industrial. El análisis sensorial fue realizado con los frutos con recubrimiento y sin recubrir con la mejor formulación obtenida las muestras fueron codificadas con letras aleatorias de la siguiente manera como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Tabla de codificación para la evaluación organoléptica**

<b>Código</b>	<b>Prueba de preferencia</b>	<b>Código</b>	<b>Prueba de medición de grado de satisfacción</b>
<b>A</b>	Muestras e frutilla sin recubrir	<b>A</b>	Muestras de frutilla con recubrimiento
<b>B</b>	Muestras e frutilla sin recubrir	<b>B</b>	Muestras de frutilla con recubrimiento

Fuente: Elaboración propia

La interpretación de los datos sensoriales se realizó con las tablas reportadas que muestra en los resultados. Se aplicó una prueba de preferencia de 30 panelistas donde se evaluó el favoritismo entre una muestra sin recubrir y otra con recubrimiento, se aplicó una prueba de medición del grado de satisfacción en una escala de 3 puntos (1 me gusta, 2 no me gusta ni me disgusta, 3 no me gusta). En esta prueba se evaluaron el color, brillo, olor y sabor, en formato individual este formato se presenta en el Anexo (4).

## **8.8. ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJO (IR)**

### **8.8.1. Preparación de la Muestra**

Las muestras de pectina obtenidas fueron analizadas en el equipo Perkin Elmer Spectrum BX FT-IR System de la Facultad de Ciencias Puras. Tomando como muestra patrón a la pectina comercial para su comparación e identificación de los espectros IR.

- Se procede a triturar en un mortero de ágata de 2 a 3mg de las muestras de pectina (naranja y toronja) la cual debe estar completamente seca, se muele perfectamente hasta que quede finamente pulverizada.
- Se hizo el montaje de las piezas metálicas donde se depositó la muestra en el interior del dispositivo recolector (porta muestra) conteniéndola con dos cilindros. Se presionó

con un sistema de prensado manual. Luego se introdujo el porta muestra en el espectrofotómetro y se obtuvo la lectura del espectro IR.

- Se observa las lecturas del espectro en un rango de longitud de onda de  $4000\text{ cm}^{-1}$  -  $600\text{ cm}^{-1}$



**Imagen 18. Equipo Perkin Elmer Spectrum BX FT - IR System.**

## **8.9. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

### **8.9.1. Preparación de la muestra**

Debido a que las películas comestibles de pectina son piezas no conductoras se debe realizar un recubrimiento con oro.

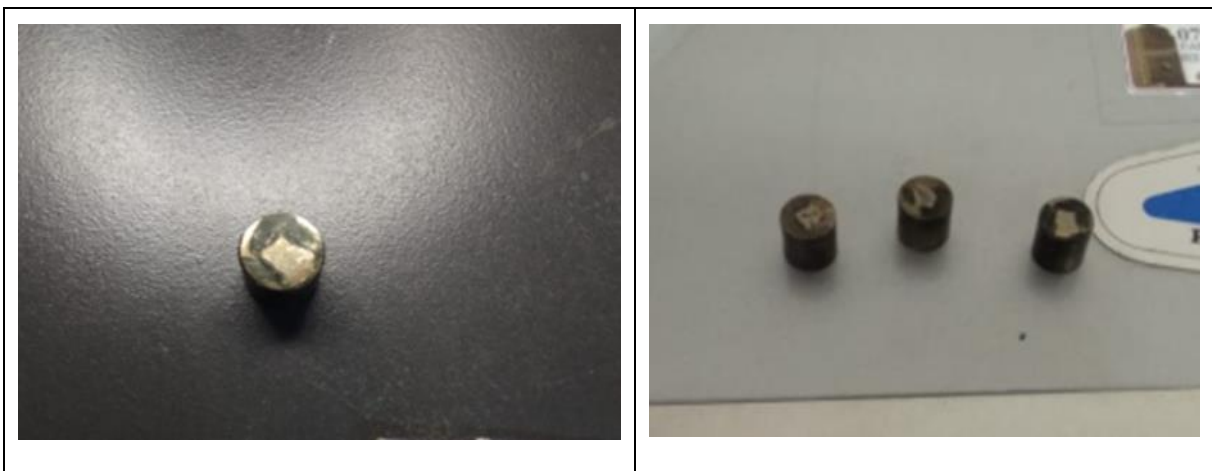
Limpiar con alcohol al 75 % a la superficie del porta muestra de cobre, a continuación, se utiliza adhesivo para fijar la muestra. Luego cortamos un pedazo pequeño de la muestra (4x4 mm de dimensión aproximadamente) con la ayuda de una pinza, con mucho cuidado lo colocamos en la porta muestra de cobre. Ver Imagen 19.



**Imagen 19. Preparación fijación de la muestra (película comestible)**



Para crear una conexión con el suelo del porta muestra y la muestra (película comestible) usamos tinta de carbono colocando a los bordes de la muestra. ver Imagen 20.



**Imagen 20. Muestras bordeadas con tinta de carbono**

Colocar en las ranuras portadoras de muestra del sputter cuater que consiste en una fuente de alimentación en corriente continua regulable conectada a una tarjeta de oro y por otra parte al porta muestra que va acoplado a una bomba al vacío provocando que los átomos de oro se desprendan, que son atraídos hacia la muestra en la cual que dan depositados proporcionando un espesor de recubrimiento de oro durante 3 minutos, hasta recubrir adecuadamente la muestra. Ver Imagen 21.



**Imagen 21. Proceso de recubrimiento de oro de la muestra en la cámara de vacío**

### **Captura de imagen de SEM**

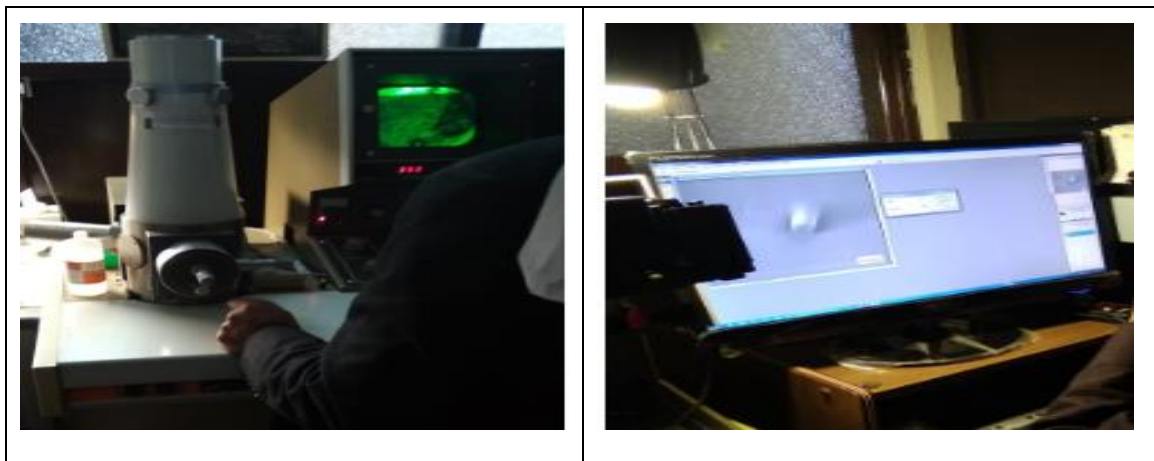
Hecho esto se coloca el porta muestra en la cámara de muestra del SEM. Cerrar el compartimiento de la muestra donde se generará el vacío.



**Imagen 22. Porta muestra de la cámara de SEM**

Después se ajustó el escenario manualmente con los botones exteriores para que la región de interés sea visible en la pantalla. ver Imagen 22.

Para la captura de la imagen se debe ajustar el enfoque hasta los niveles de ampliación de X500, X1000 y X1500 una vez que se aumentó el nivel de ampliación, se ajusta la perilla de enfoque para mejorar la claridad de la imagen. ver Imagen 23.



**Imagen 23. Enfoque ampliación y ajuste de la imagen**

## CAPÍTULO IV

### 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 9.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS PECTINAS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

El análisis del espectro infrarrojo que se presenta a continuación fue realizado para la pectina cítrica comercial la cual fue expresada como pectina patrón para su posterior comparación con las pectinas extraídas de las cascaras de naranja y toronja.

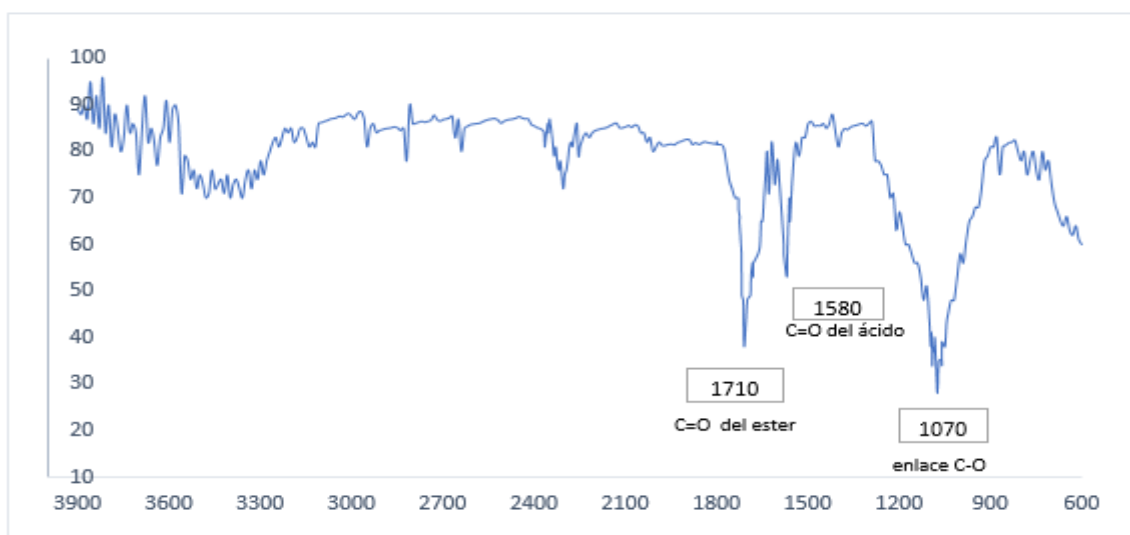
Tabla 3. Tabla comparativa según espectro IR

Vibración	Datos de pectina de naranja ( $\text{cm}^{-1}$ )	Datos de pectina de toronja ( $\text{cm}^{-1}$ )	Datos de pectina patrón ( $\text{cm}^{-1}$ )	Banda de absorción ( $\text{cm}^{-1}$ )
C=O (Esteres)	1718	1780	1710	1700 - 1800
C=O (Ácidos)	1600	1590	1580	1500 - 1700
Enlace C-O	1049	1010	1070	1000-1250

Fuente: Elaboración propia

- **Resultados de infrarrojo de la pectina patrón**

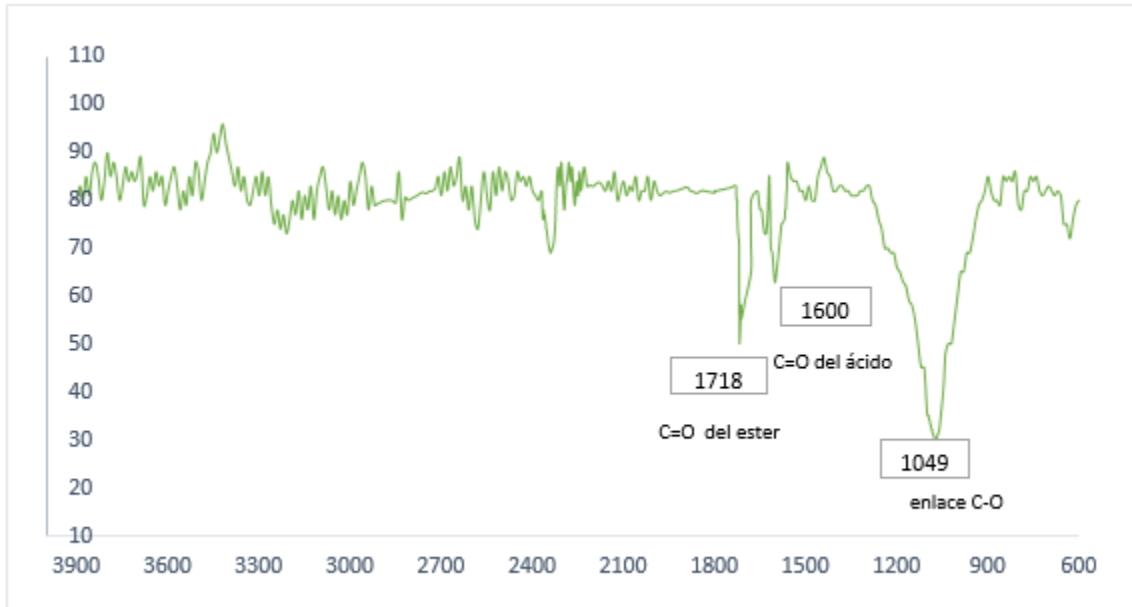
- **Figura 18. IR de pectina patron**



Fuente: Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ) Facultad de Ciencias Puras y Naturales

- **Resultados de infrarrojo de la pectina obtenida a partir de cascaras de naranja**

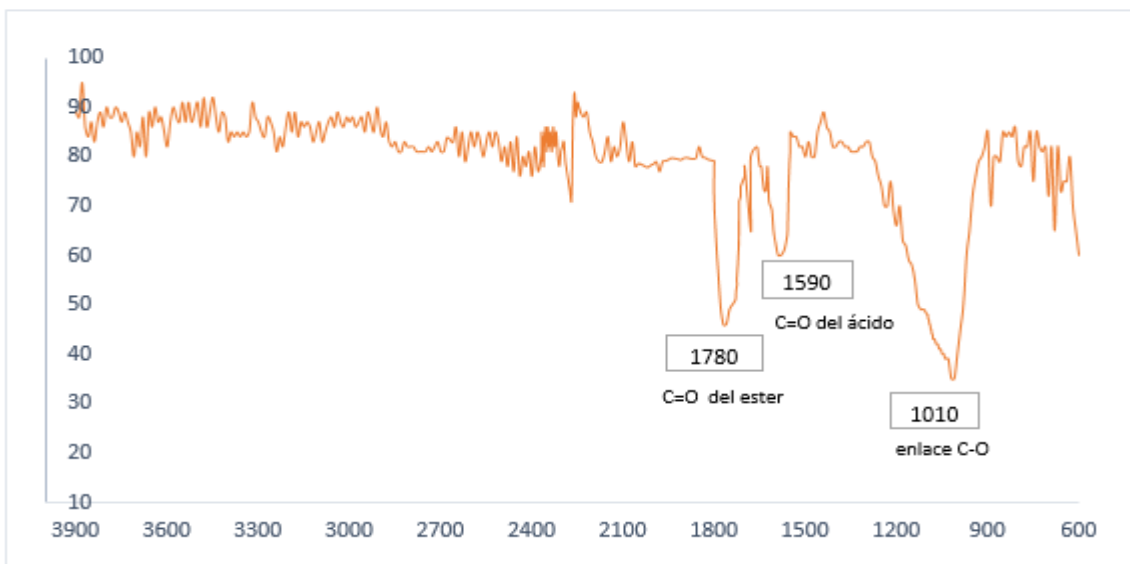
**Figura 19. IR de pectina extraida de cascaras de naranja**



Fuente: Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ) Facultad de Ciencias Puras y Naturales

- **Resultados de infrarrojo de la pectina obtenida a partir de cascaras de toronja**

**Figura 20. IR de pectina extraida de cascaras de toronja**



Fuente: Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ) Facultad de Ciencias Puras y Naturales

## 9.2. ANÁLISIS DE SECADO DE LAS PELÍCULAS

Se realizó el secado para las tres formulaciones de película a base de pectina (3%, 5% y 7%) a una temperatura de 40°C, en una estufa de secado de laboratorio que está provisto de un controlador de temperatura y tiempo.

La determinación del sólido seco se detalla en el Anexo (2) y las ecuaciones empleadas para el cálculo de la velocidad del secado se describen en el Anexo (3)

### 9.2.1. Determinación de la velocidad de secado para la película a base de pectina al 3 %

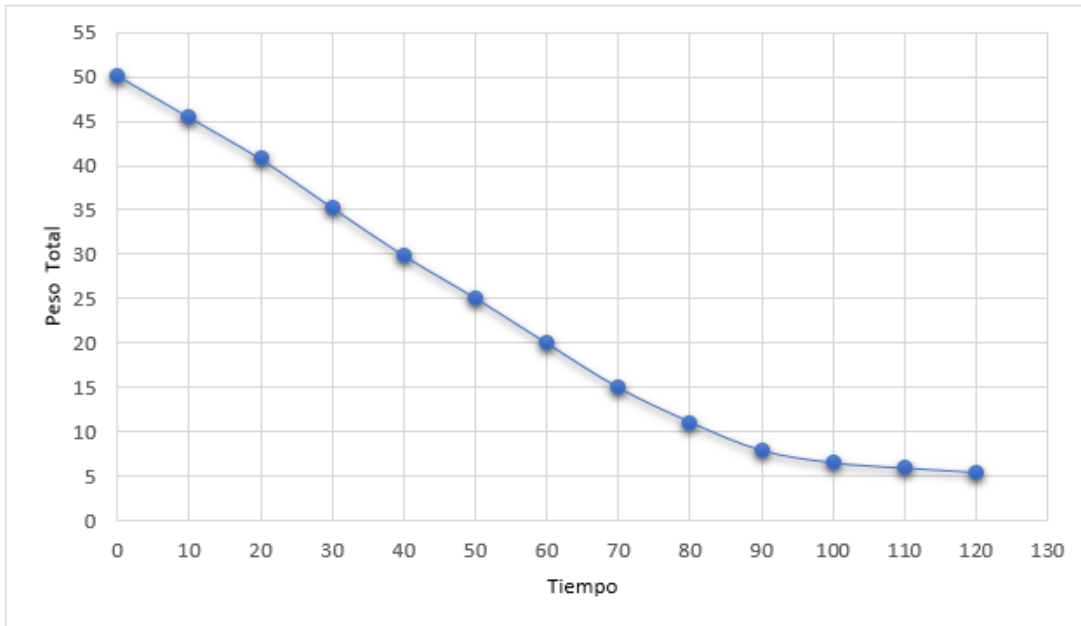
**Tabla 4 . Variables para la determinación de la velocidad de secado de la película al 3%**

Nº	Tiempo (min)	Peso de la Muestra	$S_S = \text{Sólido Seco}$ $X = \text{Humedad en base seca}$	$X_m = \text{Humedad promedio}$	$W = \text{velocidad de secado}$
		$X_T$ (g)	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg} * S_S}$	$W = \frac{\text{Kg agua}}{h * m^2}$
1	0	50,2	8,6538		
2	10	45,5	7,7500	8,2019	0,8131
3	20	40,8	6,8462	7,2981	0,8640
4	30	35,3	5,7885	6,3173	0,9516
5	40	29,9	4,7500	5,2692	0,9343
6	50	25,1	3,8269	4,2885	0,8824
7	60	20	2,8462	3,3365	0,8824
8	70	15	1,8846	2,3654	0,8651
9	80	11,1	1,1346	1,5096	0,7169
10	90	7,9	0,5192	0,8269	0,5536
11	100	6,5	0,2500	0,3846	0,2422
12	110	5,9	0,1346	0,1923	0,1357
13	120	5,4	0,0385	0,0865	0,0397
14	130	5,3	0,0192	0,0288	0,0184

Fuente: elaboración propia

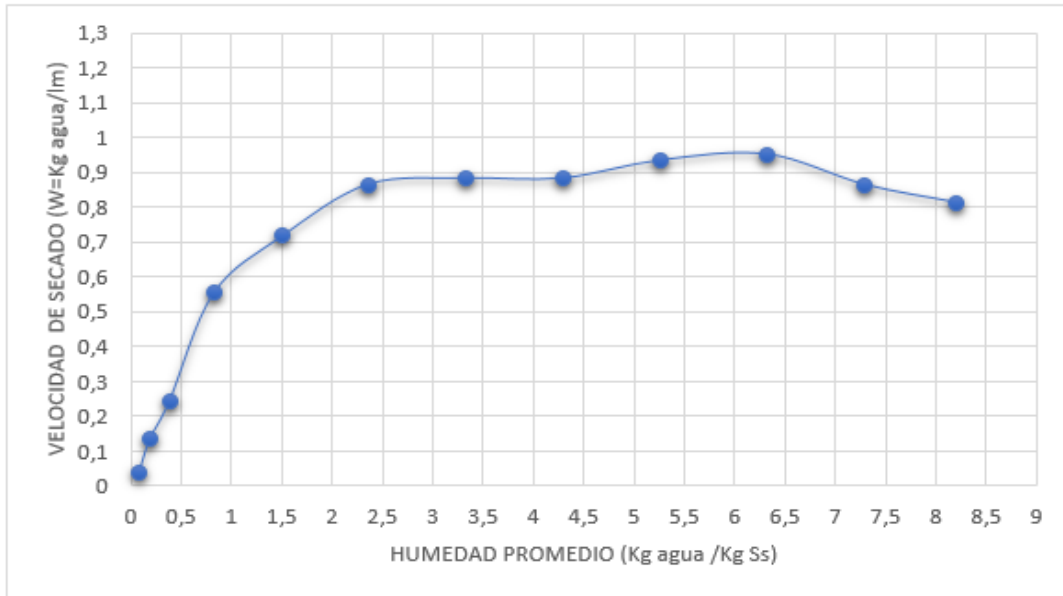
La Gráfica 1 se presenta el peso total vs tiempo de la película a base de pectina al 3% en la cual se puede llegar a observaren esta etapa la muestra se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio, además que la curva del descenso de masa respecto al tiempo es uniforme y que la masa constante a llegar es en un tiempo de 130 min.

**Gráfica 1. Peso total vs. Tiempo de películas a base de pectina al 3%**



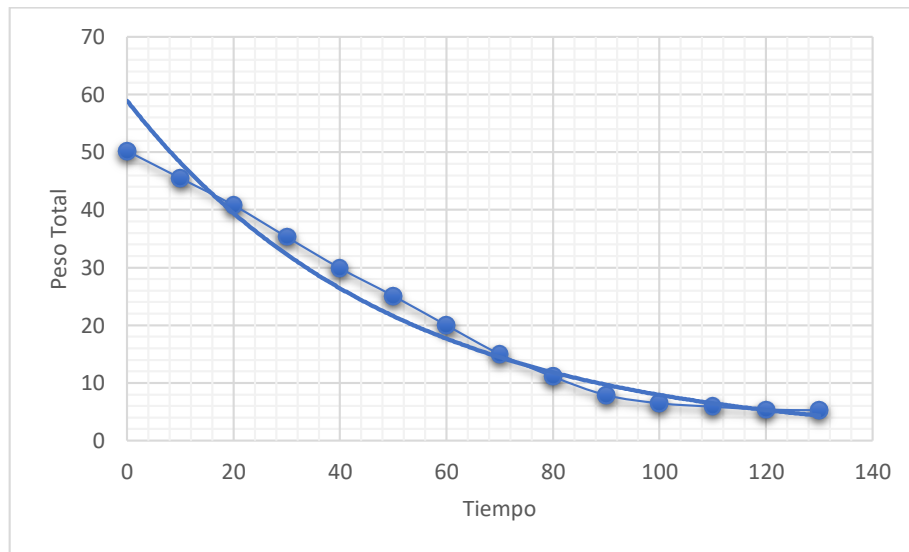
En la Gráfica 2. se muestra la velocidad de secado vs humedad de la película a base pectina al 3% se aprecia que la velocidad de secado entre los valores  $(0,8131 - 0,9516 \left[ \frac{\text{Kg agua}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right])$  la muestra se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio, debido a que la poca duración de evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad, así mismo se puede observar una etapa en la cual existe un periodo de velocidad constante donde se evapora la humedad libre o no ligada del material predominando las condiciones externas de secado, alcanzando la etapa final de calentamiento. A continuación, se ve un periodo decreciente, en estas condiciones la muestra tiene un comportamiento de descenso de la velocidad de secado donde rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. Ahora la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación. Además, que la película presenta una humedad inicial alta de  $(8,2019 \left[ \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg } S_s} \right])$  en comparación a las demás películas de 5% y 7% de concentración de pectina.

**Gráfica 2. Velocidad de secado vs. Humedad de películas a base de pectina al 3%**



**Análisis de regresión lineal de la película a base de pectina al 3%**

**Gráfica 3. Peso total vs Tiempo**



$$Y=58,925e^{-0.02x} \dots\dots\dots(a)$$

$$r = 0.9878$$

Ecuación determinada experimentalmente:

Se realizó un ajuste curvas del tipo exponencial para obtener la ecuación (a) con los resultados de la (Tabla 4) esta expresa la relación del descenso de masa respecto al tiempo. Por tanto es posible predecir que la masa teórica a secar a un tiempo de 130 minutos es de 4.38 g. En cuanto a la pendiente negativa que presenta la Gráfica 3 se debe a que los valores se encuentran en forma decreciente debido al descenso de la masa con respecto al tiempo.

### 9.2.2. Determinación de la velocidad de secado para la película a base de pectina al 5 %

**Tabla 5 . Variables para la determinacion de la velocidad de secado de la pelicula al 5%**

Nº	Tiempo (min)	<i>Peso de la Muestra</i>	<i>S<sub>S</sub>=Sólido Seco X=Humedad en base seca</i>	<i>X<sub>m</sub>= Humedad promedio</i>	<i>W=velocidad de secado</i>
		X <sub>T</sub> (g)	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \frac{Kg\ agua}{Kg * S_S}$	$W = \frac{Kg\ agua}{h * m^2}$
2	10	49,3	7,2167	7,7417	1,0900
3	20	41,6	5,9333	6,5750	1,4154
4	30	33,8	4,6333	5,2833	1,3495
5	40	26,5	3,4167	4,0250	1,2630
6	50	20	2,3333	2,8750	1,1949
7	60	14,4	1,4000	1,8667	0,9689
8	70	10,6	0,7667	1,0833	0,6574
9	80	8,3	0,3833	0,5750	0,4228
10	90	7,2	0,2000	0,2917	0,1903
11	100	6,9	0,1500	0,1750	0,0519
12	110	6,5	0,0833	0,1167	0,0905
13	120	6,3	0,0500	0,0667	0,0159

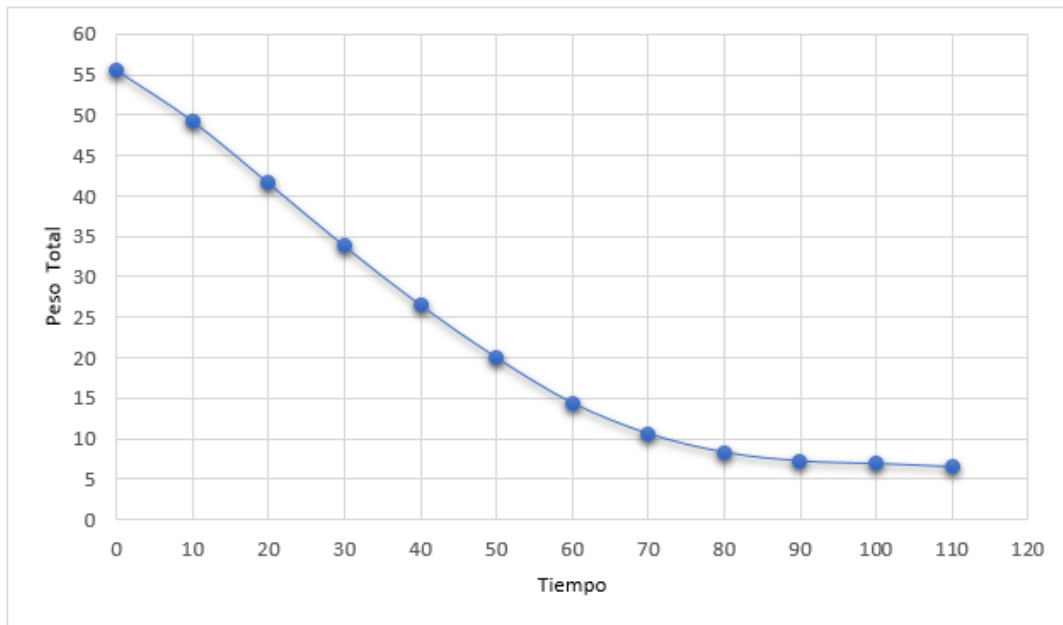
Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 4 se presenta el peso total vs tiempo de la película a base de pectina al 5% en la cual al igual que la anterior gráfica presenta tres periodos de secado una que es de equilibrio, un periodo constante y periodo decreciente se puede llegar a observar que el descenso de masa



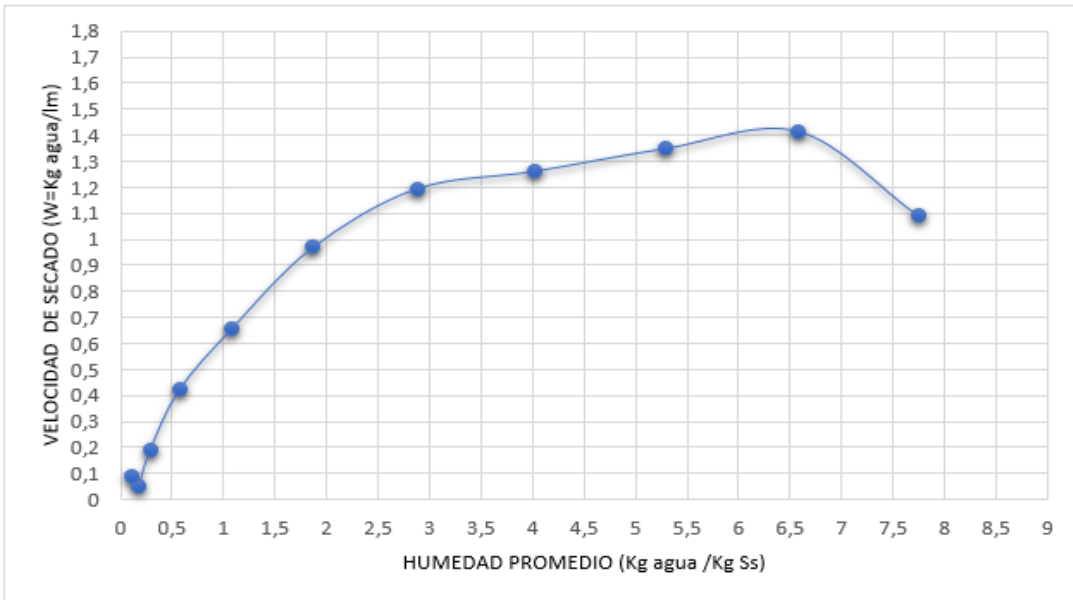
respecto al tiempo es uniforme y que la masa constante a llegar es en un tiempo de 120 min. El cual es un tiempo inferior a la película de contenido de 3% de pectina.

**Gráfica 4. Peso total vs. Tiempo de películas a base de pectina al 5%**



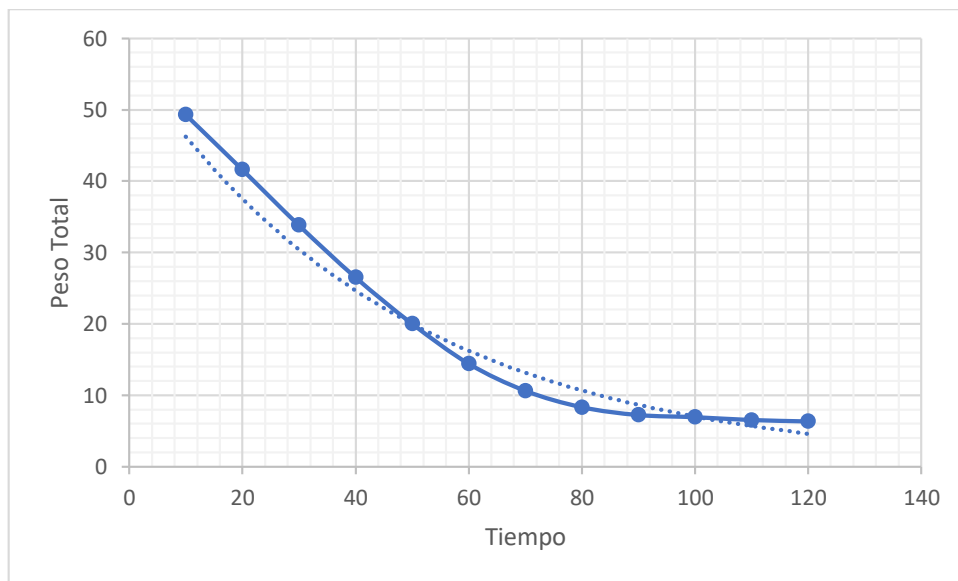
En la Gráfica 5 se muestra la velocidad de secado vs humedad de la película a base pectina al 5% se puede observar que la velocidad de secado tiene un comportamiento decreciente, se aprecia también que la velocidad de secado entre los valores  $(1,0900 - 1,4154 \left[ \frac{\text{Kgagua}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right])$  la muestra se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio, además que la película presenta una humedad inicial media de  $(7,7417 \left[ \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kg} \cdot \text{S}_s} \right])$  en comparación a las demás películas de 3% y 7% de concentración de pectina.

**Gráfica 5. Velocidad de secado vs. Humedad de películas a base de pectina al 5%**



**Análisis de regresión lineal de la película a base de pectina al 5%**

**Gráfica 6. Peso total vs Tiempo**



Ecuación determinada experimentalmente:

$$y = 57.033e^{-0.021x} \dots\dots\dots (b)$$

$$r = 0,9767$$

Ecuación determinada experimentalmente:

Se realizó un ajuste curvas del tipo exponencial para obtener la ecuación (b) con los resultados de la (Tabla 5) esta expresa la relación del descenso de masa respecto al tiempo. Por tanto, es posible predecir que la masa teórica a secar a un tiempo de 120 minutos es de 4.58 g. En cuanto a la pendiente negativa que presenta la Gráfica 6 se debe a que los valores se encuentran en forma decreciente debido al descenso de la masa con respecto al tiempo.

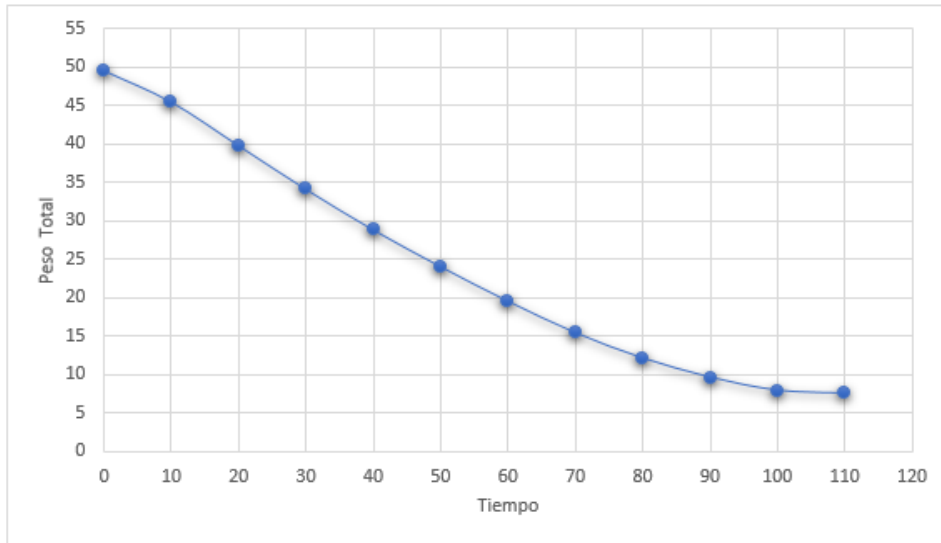
**Tabla 6 .Variables para la determinacion de la velocidad de secado de la pelicula al 7%**

Nº	Tiempo (min)	Peso de la Muestra	$S_S = \text{Solido Seco}$ $X = \text{Humedad en base seca}$	$X_m = \text{Humedad promedio}$	$W = \text{velocidad de secado}$
		$X_T$ (g)	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg} * S_S}$	$W = \frac{\text{Kg agua}}{h * m^2}$
2	10	45,5	5,8939	6,2045	0,7093
3	20	39,8	5,0303	5,4621	1,0477
4	30	34,1	4,1667	4,5985	0,9861
5	40	28,8	3,3636	3,7652	0,9169
6	50	24	2,6364	3,0000	0,8823
7	60	19,5	1,9545	2,2955	0,7785
8	70	15,4	1,3333	1,6439	0,7093
9	80	12,1	0,8333	1,0833	0,6066
10	90	9,6	0,4545	0,6439	0,4325
11	100	7,9	0,1970	0,3258	0,2941
12	110	7,5	0,1364	0,1667	0,0905

Fuente: Elaboración propia

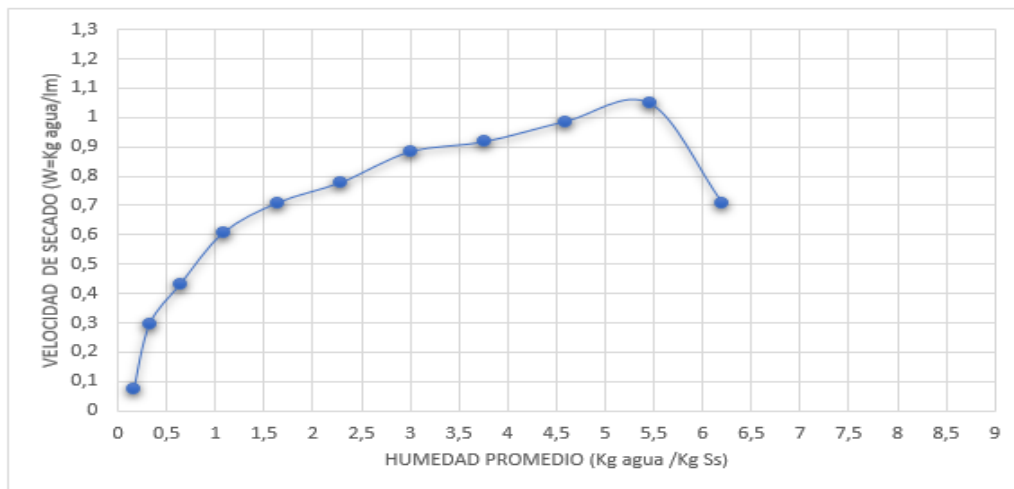
La Gráfica 7 se presenta el peso total vs tiempo de la película a base de pectina al 7% en la cual se puede llegar a observar que el descenso de masa respecto al tiempo es uniforme y que la masa constante a llegar es en un tiempo de 110 min. El cual es un tiempo mucho más inferior a la película de contenido de 3% y 5% de pectina.

**Gráfica 7. Peso total vs. Tiempo de películas a base de pectina al 7%**



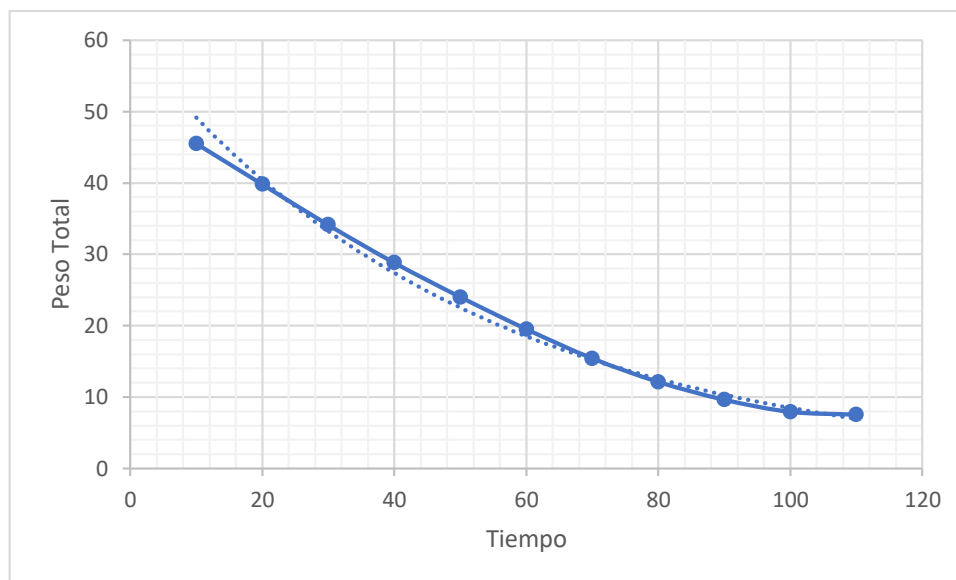
En la Gráfica 8 se muestra la velocidad de secado vs humedad de la película a base pectina al 7% se puede observar que la velocidad de secado del periodo de equilibrio alcanza con mayor rapidez a la temperatura de equilibrio esto se debe a que la distribución de calor de la muestra no es uniforme tiene un comportamiento decreciente, además que la película presenta una humedad inicial media de  $(6,2045 \left[ \frac{Kg \text{ agua}}{Kg * S_s} \right])$  el cual presenta una humedad mucho más inferior en comparación a las demás películas de 3% y 5% de concentración de pectina, siendo esta la humedad más baja.

**Gráfica 8. Velocidad de secado vs. Humedad de películas a base de pectina al 7%**



## Análisis de regresión lineal de la película a base de pectina al 7%

Gráfica 9. Peso total vs Tiempo



Ecuación determinada experimentalmente:

$$y = 59.791e^{-0.02x} \dots\dots\dots(c)$$

$$r = 0.9961$$

Ecuación determinada experimentalmente:

Se realizó un ajuste curvas del tipo exponencial para obtener la ecuación (c) con los resultados de la (Tabla 6) esta expresa la relación del descenso de masa respecto al tiempo. Por tanto, es posible predecir que la masa teórica a secar a un tiempo de 110 minutos es de 6.63g. En cuanto a la pendiente negativa que presenta la Gráfica 9 se debe a que los valores se encuentran en forma decreciente debido al descenso de la masa con respecto al tiempo.

### 9.2.3. Análisis de las propiedades físicas de las películas comestibles

- **Espesor**

En la Tabla 7 se muestran las 10 medidas aleatorias de las diferentes películas comestibles elaboradas a diferentes concentraciones. Determinándose el promedio de cada película comestible.

**Tabla 7. Medidas del espesor de las películas comestibles**

<b>N°</b>	<b>Espesor de película a base de pectina al 3% (mm)</b>	<b>Espesor de película a base de pectina al 5% (mm)</b>	<b>Espesor de película a base de pectina al 7% (mm)</b>
1	0.14	0.29	0.31
2	0.12	0.28	0.38
3	0.11	0.33	0.37
4	0.13	0.28	0.36
5	0.14	0.37	0.32
6	0.16	0.21	0.36
7	0.20	0.22	0.31
8	0.15	0.26	0.34
9	0.13	0.30	0.37
10	0.15	0.29	0.31
Promedio	0,14	0,28	0,34

Fuente: Elaboración propia

El espesor varía según el contenido de sólidos de las diferentes formulaciones como se puede ver en la Tabla 7. El espesor promedio de la película a base de pectina al 3% es de 0,14mm, de 5% es de 0,28mm y de 7% es de 0,34mm. El espesor de la película que contiene pectina al 7% tiene propiedades pobres en comparación con las películas a base de pectina al 3% y 5%.

#### **Resultados Estadísticos para las medidas de espesor de película a base de pectina**

Para el cálculo de los valores medios y las desviaciones estándar se emplea las siguientes ecuaciones a un nivel de confianza del 95% :

**Tabla 8. Tabla de resultados estadísticos del espesor**

Ecuaciones	Espesor de película a base de pectina al 3% (mm)	Espesor de película a base de pectina al 5% (mm)	Espesor de película a base de pectina al 7% (mm)
<b>Valor medio</b> $\bar{E} = \frac{\sum X_i}{n}$	0,14	0,28	0,34
<b>Desviación Estándar</b> $s_L = \sqrt{\frac{\sum E_i^2 - \frac{\sum E_i}{n}}{n - 1}}$	0.02	0,05	0,03
<b>Intervalo de confianza</b> $E = \bar{E} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s_E}{\sqrt{n}}$	0,14 ± 0,01 mm	0,28 ± 0,04 mm	0,34 ± 0,02 mm

Fuente: Elaboración propia

- **Solubilidad**

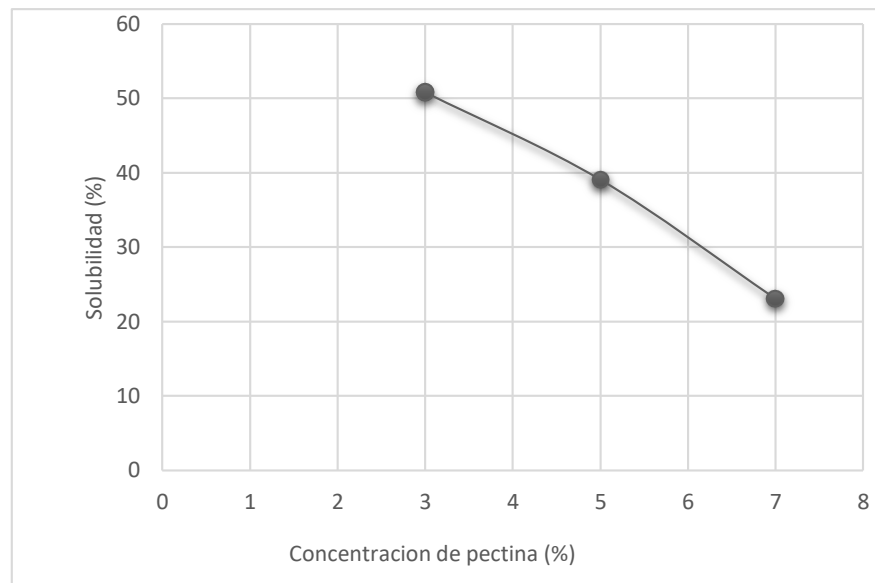
La solubilidad en agua de las películas se reportada en porcentaje.

**Tabla 9. Porcentaje de solubilidad de las películas comestibles**

Concentración de pectina (%)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Solubilidad (%)
3%	0,3584	0,1822	50,78
5 %	0,4557	0,2777	39,06
7%	0,4894	0,3765	23,07

Fuente: elaboración propia

**Gráfica 10. Solubilidad de las películas comestibles en agua con respecto a su concentración de pectina**



Como se puede observar en la Tabla 9 todas las películas son solubles en un porcentaje determinado, teniendo un porcentaje mayor al 20%, presentando mayor solubilidad las películas formadas a base de pectina al 3%, seguido de la película al 5% y 7%. Esto debido a que al añadir más cantidad de pectina se reduce el agua y se concentra los sólidos.

En la Gráfica 10 se observa que a medida que la concentración de pectina se incrementa la solubilidad disminuye, además el porcentaje el porcentaje de menor solubilidad indica que existe una mayor cohesión en la matriz polimérica debido a la formación de enlaces de hidrogeno entre las cadenas de polímeros involucrados.

De los resultados del ensayo, puede observarse que todas las muestras son susceptibles a la degradación por agua, lo cual favorece las condiciones de degradabilidad de las películas comestibles obtenidas.

- **Prueba de resistencia**

A continuación, se observa la tabla de datos obtenidos para el cálculo de la tensión de las películas comestibles.



**Tabla 10 .Datos experimentales, para el cálculo de la tensión de las películas comestibles**

<b>Película a base de pectina</b>	<b>Masa máxima de soporte (g)</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>	<b>gravedad m/s<sup>2</sup></b>	<b>Fuerza(N)</b>	<b>Tensión (Mpa)</b>
3%	13,08	0,0051	9,78	0,1279	2,5083x10 <sup>-5</sup>
5%	25,98	0,0050	9,78	0,2541	5,0817x10 <sup>-5</sup>
7%	40,33	0,0051	9,78	0,3944	7,733910 <sup>-5</sup>

Fuente: elaboración propia

A continuación, se observa el cálculo de la elongación máxima que tiene cada una de las películas comestibles.

**Tabla 11. Datos experimentales para el cálculo de elongación máxima**

<b>Película a base de pectina</b>	<b><math>l_o</math> (cm)</b>	<b><math>l_f</math>(cm)</b>	<b><math>\%L_{rot} = \frac{l_f - l_o}{l_o}</math></b>	<b><math>E = \frac{T}{\Delta L/l_0}</math> (Mpa)</b>
3 %	5	5.8	16%	0.000156
5%	5.2	5.8	11,54%	0.00044
7%	5.2	5.6	7.69%	0.00100

Fuente: elaboración propia

En la tabla 10 se muestra los resultados obtenidos de tensión para las diferentes formulaciones de películas. En el caso de las películas de 7% de pectina presentan valores altos de tención (7,733910<sup>-5</sup>MPa) en comparación con las películas que tienen menor concentración de pectinas, cuánto mayor fue el contenido de pectina en las formulaciones mayores fueron los valores de

tensión, este incremento en los niveles de tensión se debe a la interacción química de los componentes de pectina y glicerina el cual repercute directamente en la propiedad de la resistencia a la ruptura.

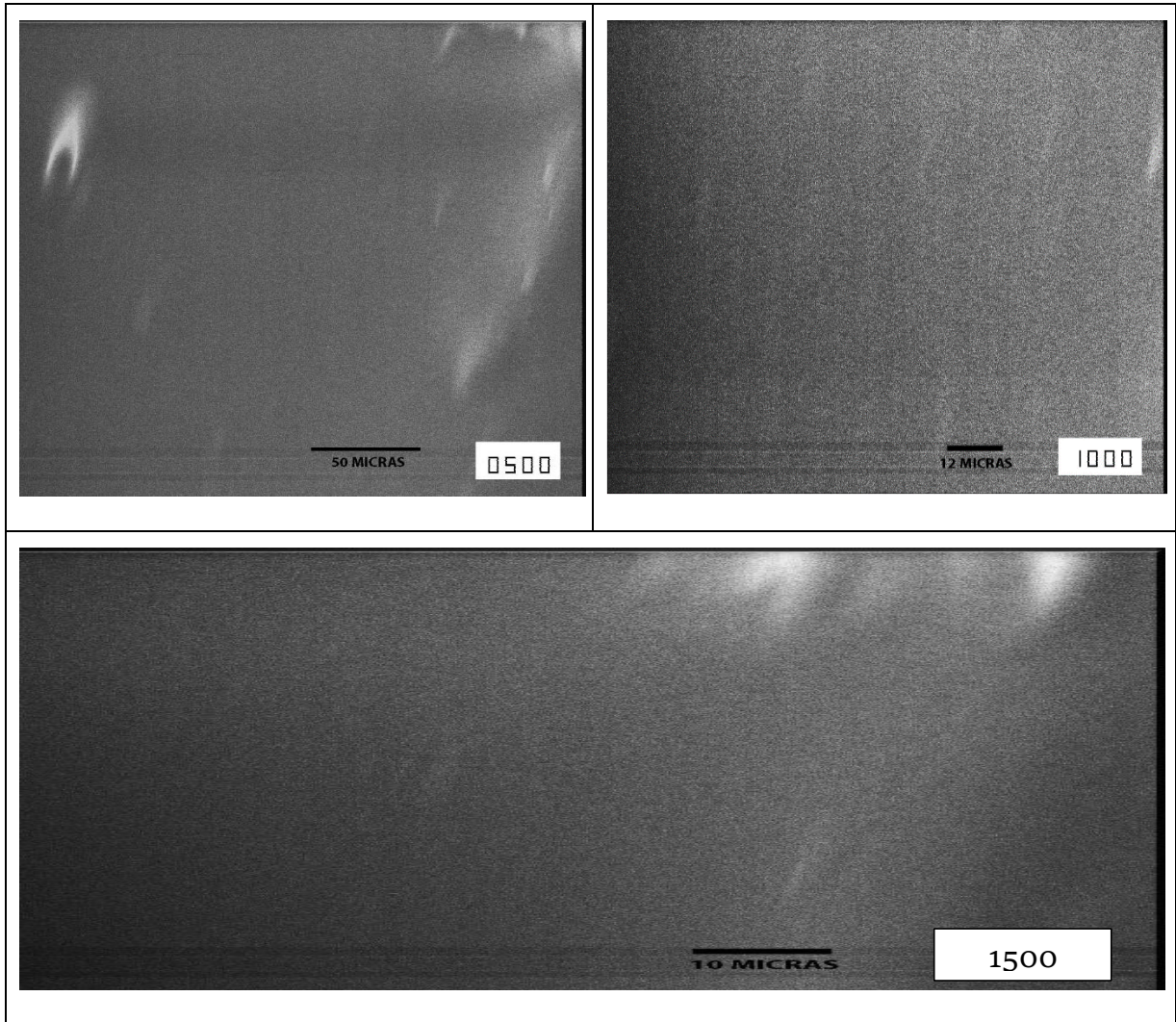
Los resultados obtenidos para el porcentaje de elongación que se muestra en la Tabla 11 se puede observar que a medida que se incrementa la concentración de pectina en las películas el porcentaje de elongación disminuye, siendo la película de pectina al 3% la que presentó mayor porcentaje de alargamiento en el punto de ruptura (16%) mientras que para las películas de 5% y 7% de pectina presentaron un valor de (11,54% y 7,69 %).

El módulo de Young (E) es una medida de rigidez de las películas, estos valores están expresados en MPa ver Tabla 11. Los resultados de películas presentaron diferencias significativas en cuanto a las formulaciones realizadas, en el caso de la película formada con pectina al 7% presentó un valor mayor (0.0010 MPa) en comparación con las películas de menor concentración 3% y 5% de pectina (0.000156 MPa y 0.00044 MPa). El incremento del módulo de Young respecto a la concentración de pectina indica que cuanto mayor es el contenido de sólidos mayor es la tensión necesaria a aplicar para alcanzar una deformación. Es decir que se aprecia un aumento de rigidez de la película.

#### **9.2.4. Características estructurales evaluadas mediante Microscopía Electrónica de Barrido**

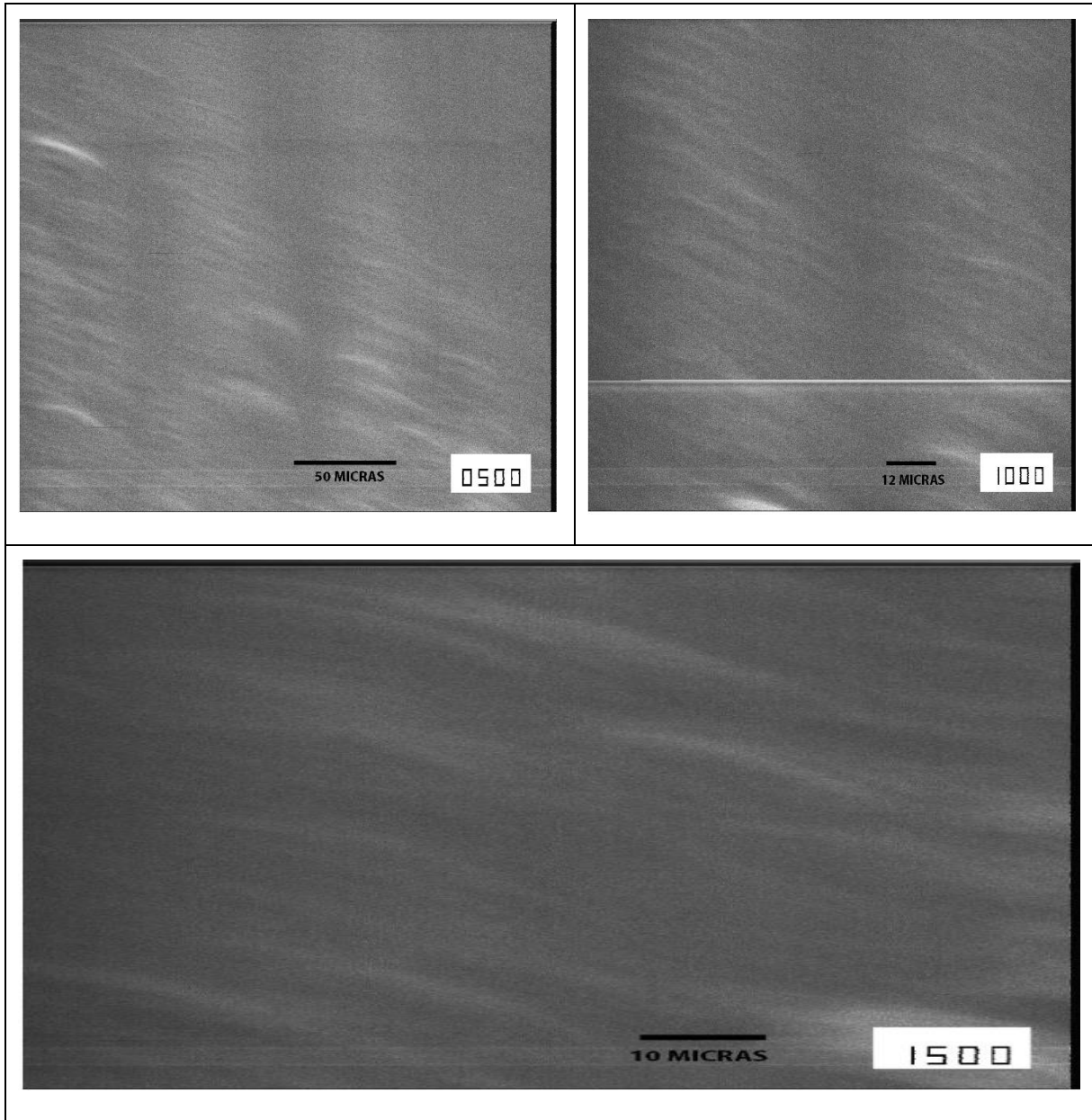
Se muestra las microfotografías de la superficie de las películas comestibles a base de pectina al 3%, 5% y 7% obtenidas a través de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), las películas fueron visualizadas por una sola vez con un aumento X500, X1000 y X1500 respectivamente.

En la Imagen 24 se aprecia la película comestible a base de pectina al 3%, se puede observar que para la magnificación de X500 presenta pequeños grumos o burbujas las cuales pueden ser burbujas de aire en la película o remanentes de solutos no disueltos, por lo demás para las magnificaciones de X1000 y X1500 evaluadas presentan una superficie homogénea por lo tanto podemos decir que la película se caracteriza por presentar una estructura lisa y homogénea.



**Imagen 24. Micrografías de la película a base de pectina al 3% con un aumento de X500, X1000 y X1500**

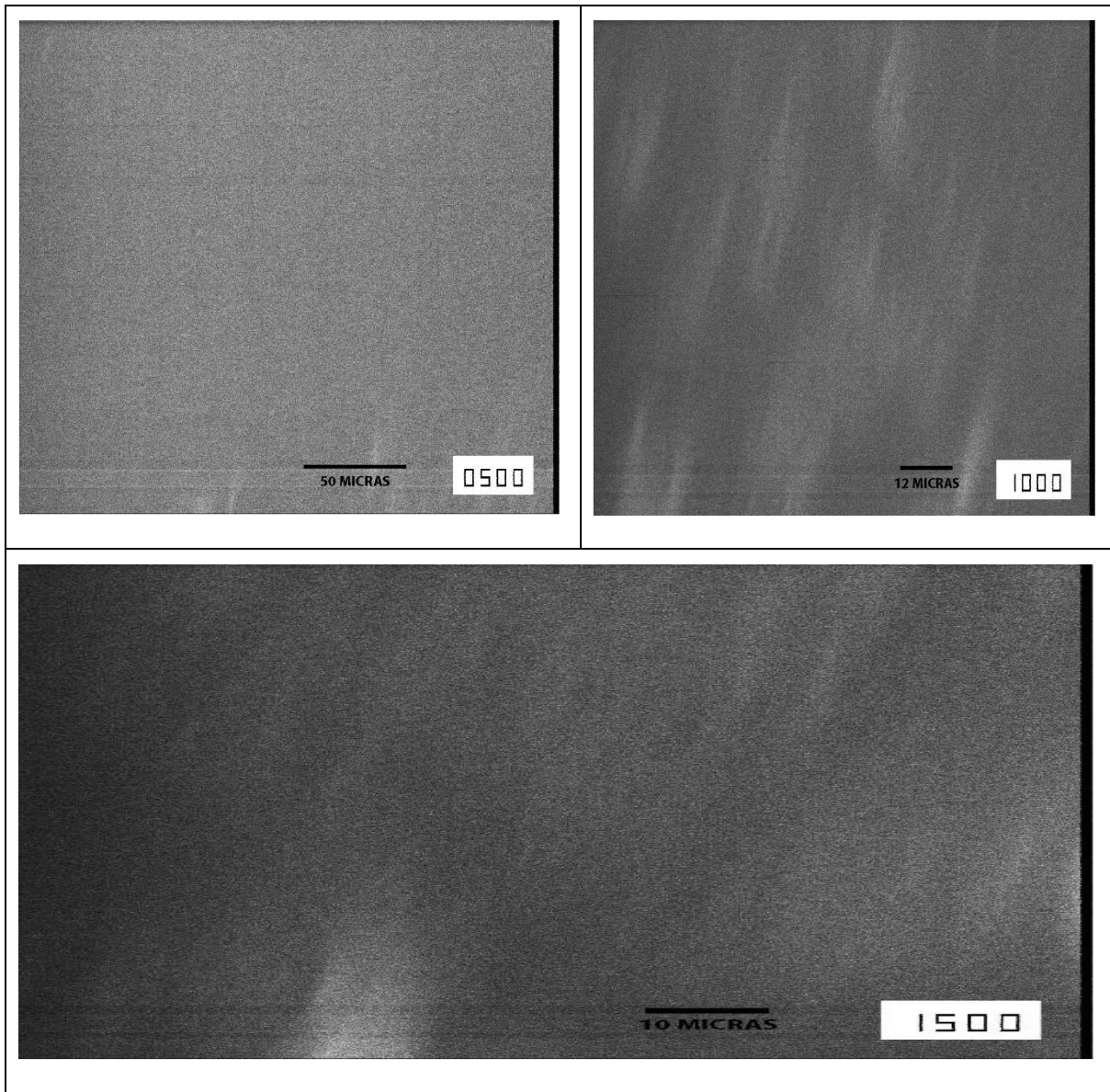
En la Imagen 25 se muestra la película comestible a base de pectina al 5 %, se observa que las magnificaciones de X500, X1000 y X1500 muestran una superficie compacta, homogénea, sin presencia de poros, por lo tanto, se puede decir que éstas también se caracterizan por presentar una estructura lisa y homogénea sin huecos o fracturas.



**Imagen 25. Micrografías de la película a base de pectina al 5% con un aumento de X500, X1000 y X1500**

En la Imagen 26 se aprecia la película comestible a base de pectina al 7%, de la misma forma se visualizó para las magnificaciones de X500, X1000 y X1500, se observa que, para las tres micrografías la superficie es homogénea y continua, así como también esta película comestible presenta una estructura lisa, homogénea, sin huecos o fracturas.

Se puede apreciar en la Imagen 25 e Imagen 26 pequeñas imperfecciones, las que pueden haber sido causadas al momento de colocar las películas en el porta muestras produciendo estrías.



**Imagen 26. Micrografías de la película a base de pectina al 7% con un aumento de X500, X1000 y X1500**

### **9.3. ANÁLISIS DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS FRUTAS**

#### **9.3.1. Cálculo de la pérdida de peso**

Para la determinación de pérdida de peso se utilizó la ecuación (6)

**Tabla 12. Datos experimentales obtenidos para la determinación de pérdida de peso en las frutillas**

<b>Días</b>	<b>m (g) fruta control sin Recubrimiento</b>	<b>m(g) fruta con Recubrimiento a base de pectina al 3%</b>	<b>m(g) fruta con Recubrimiento a base de pectina al 5%</b>	<b>m(g) fruta con Recubrimiento a base de pectina al 7%</b>
1	84,21	61,29	49,6	51,56
2	78,63	57,24	46,49	49,84
3	73,62	53,56	43,54	46,36
4	69,68	50,87	41,53	43,84
5	56,99	44,3	36,88	38,52

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13. Porcentaje de pérdida de peso en frutillas**

<b>Días</b>	<b>Frutilla sin recubrimiento</b>	<b>Frutilla con recubrimientos a base de pectina al 3%</b>	<b>Frutilla con recubrimientos a base de pectina al 5%</b>	<b>Frutilla con recubrimientos a base de pectina al 7%</b>
2	6,63	6,61	6,27	3,34
3	12,58	12,61	12,22	10,09
4	17,25	17,00	16,27	14,97
5	32,32	27,72	25,65	25,29

Fuente: elaboración propia

**Tabla 14. Datos experimentales obtenidos para la determinación de pérdida de peso en las uvas**

<b>Días</b>	<b>m (g) uvas sin recubrimiento</b>	<b>m(g) uvas con recubrimientos a base de pectina al 3 %</b>	<b>m(g) uvas con recubrimientos a base de pectina al 5 %</b>	<b>m(g) uvas con recubrimientos a base de pectina al 7 %</b>
1	63,19	66,44	112,84	70,55
2	62,37	65,7	112,06	69,98
3	61,56	65,02	111,33	69,01
4	60,97	64,43	110,70	68,78
5	59,43	63,24	109,19	68,1
6	58,79	62,39	108,31	67,89
7	58,13	61,73	106,53	67,02
8	57,28	61,04	106,06	66,2
9	56,32	60,31	106,17	65,73
10	53,75	58,4	103,99	65,48
11	52,21	57,31	102,80	64,99
12	51,09	56,73	102,11	64,32
13	49,79	54,4	100,28	63,83

Fuente: elaboración propia

**Tabla 15. Porcentaje de pérdida de peso en uvas**

<b>Días</b>	<b>Uvas sin recubrimiento</b>	<b>Uvas con recubrimientos a base de pectina al 3 %</b>	<b>Uvas con recubrimientos a base de pectina al 5 %</b>	<b>Uvas con recubrimientos a base de pectina al 7 %</b>
2	1,30	1,11	0,69	0,81
3	2,58	2,14	1,34	2,18
4	3,51	3,03	1,90	2,51
5	5,95	4,82	3,23	3,47
6	6,96	6,10	4,01	3,77
7	8,01	7,09	5,59	5,00
8	9,35	8,13	6,01	6,17
9	10,87	9,23	5,91	6,83
10	14,94	12,10	7,84	7,19
11	17,38	13,74	8,90	7,88
12	19,15	14,61	9,51	8,83
13	21,21	18,12	11,13	9,53

Fuente: elaboración propia

La pérdida de peso calculado para las frutas estudiadas (frutilla y uva) se reportan en la Tabla 13 y Tabla 15, todas las frutas presentan una pérdida de peso progresiva durante el almacenamiento. Los recubrimientos comestibles aplicados a las frutillas y uvas muestran efectos significativos en la reducción de pérdida de peso que está relacionado directamente con la pérdida de agua. El recubrimiento al crear una película protectora sobre la piel de la fruta



permite disminuir la pérdida de agua durante el proceso de respiración y transpiración manteniendo por un periodo mayor la calidad de las frutas.

Las formulaciones con concentraciones al 5% y 7% de pectina presento valores bajos de pérdida de peso en frutilla (25,65% y 25,29%) a comparación con las frutillas de control (sin recubrir) cuya pérdida de peso fue de (32,32%). Evaluadas durante 5 días.

En el caso de las uvas los recubrimientos del 5% y 7% de pectina tuvieron el mismo efecto mostrando una pérdida de peso de (11,13% y 9,53%) en comparación con las de control (sin recubrir) teniendo un valor de pérdida de peso (21,21%) las cuales fueron evaluados durante un periodo de 26 días.

### 9.3.2. Cálculo de la acidez titulable, sólidos solubles e índice de madurez

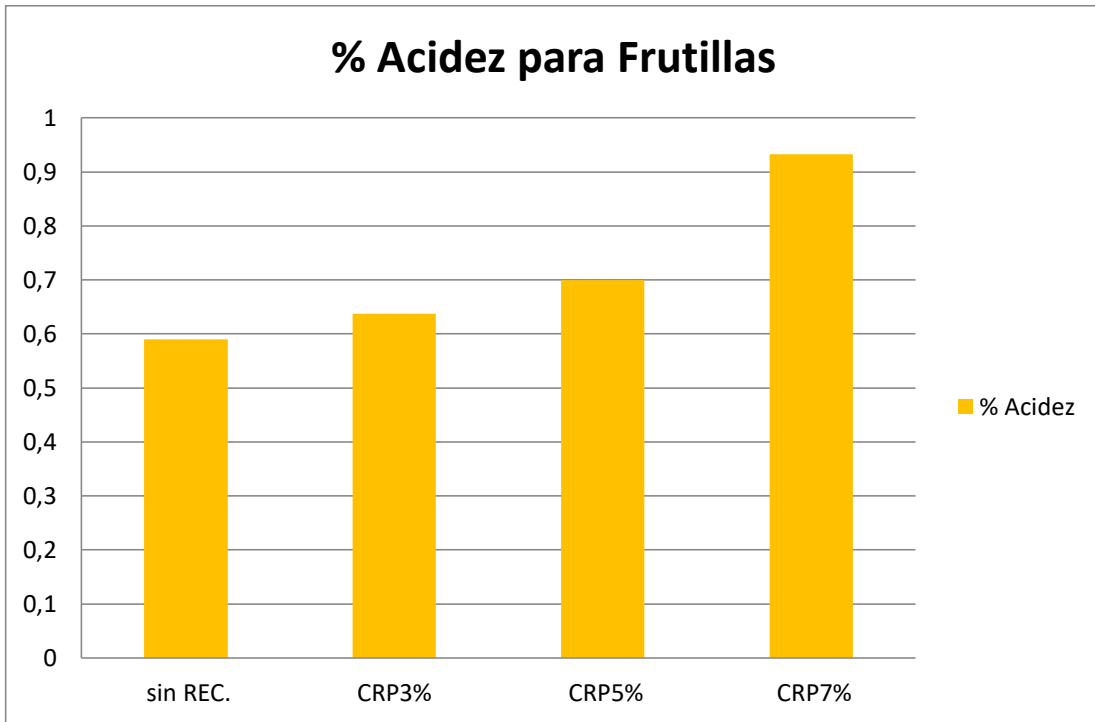
Para el cálculo de la acidez titulable e índice de madurez se empleó las ecuaciones (7) y (8)

**Tabla 16. Resultados finales de: %de acidez, sólidos solubles e índice de madurez para las frutillas.**

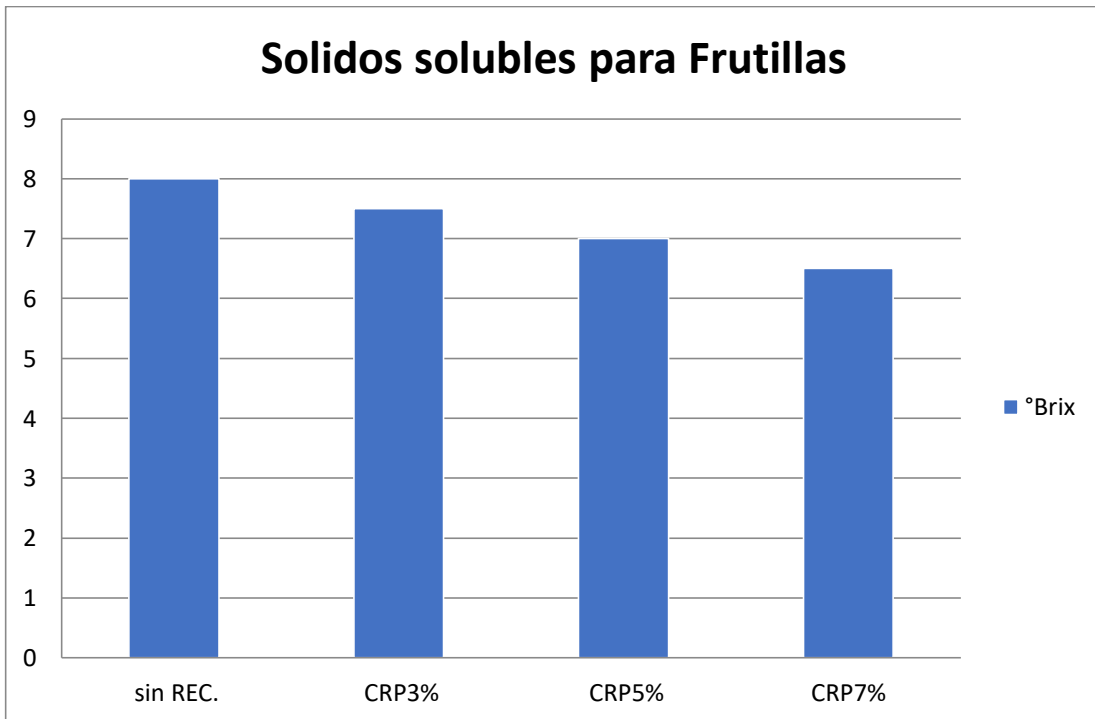
<b>Especificación</b>	<b>V<sub>gastado</sub> NaOH (ml)</b>	<b>%Acidez</b>	<b>°Brix</b>	<b>Índice De Madurez</b>
Frutillas sin recubrimiento (sin REC)	1,9	0,5904	8,0	13,55
Frutillas con recubrimiento de pectina al 3% (CRP5%)	2,05	0,6370	7,5	11,77
Frutillas con recubrimiento de pectina al 5% (CRP3%)	2,25	0,6991	7,0	10,01
Frutillas con recubrimiento de pectina al 7% (CRP7%)	3,0	0,9322	6,5	6,97

Fuente: elaboración propia

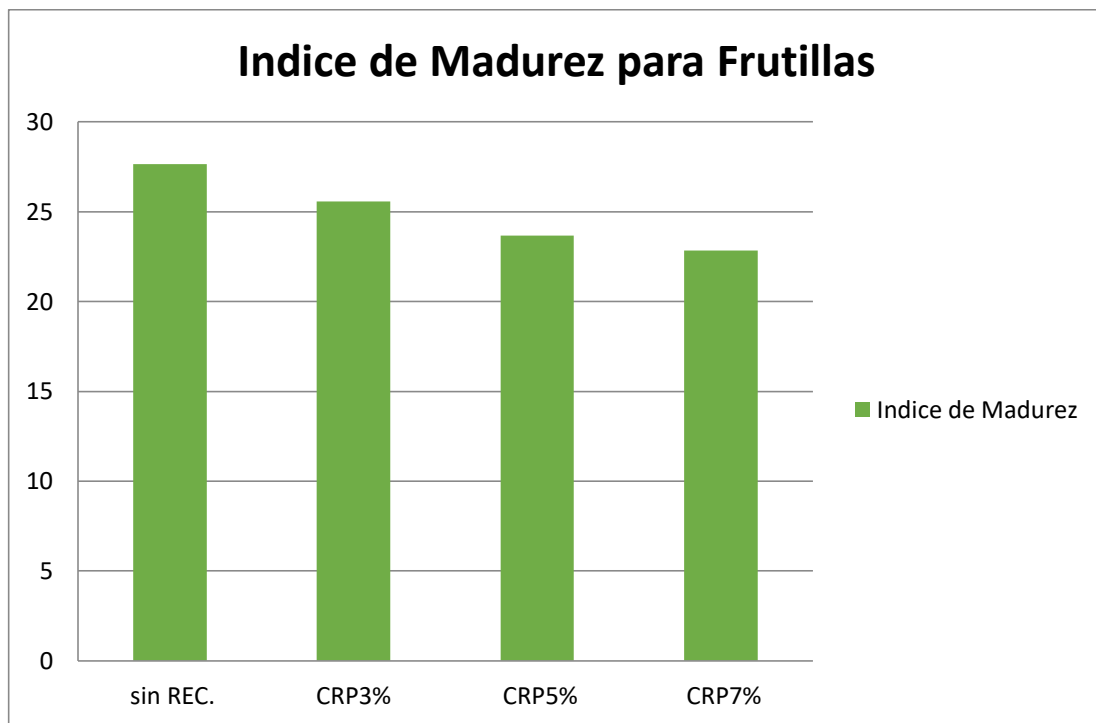
**Gráfica 11. Porcentaje de acidez, de las frutillas con recubrimiento y sin recubrimiento**



**Gráfica 12. Solidos solubles, de las frutillas con recubrimiento y sin recubrimiento**



**Gráfica 13. Índice de madurez, de las frutillas con y sin recubrimiento**



La Gráfica 11, muestra que el comportamiento de la disminución del porcentaje de acidez en un lapso de 4 días, para las frutillas con recubrimiento al 7 % de pectina ,presentan menor pérdida de porcentaje de acidez (0.932%), seguido del recubrimiento al 5 % de pectina (0.699%), en comparación con las frutillas sin recubrir que presentan valores altos de disminución de porcentaje de acidez (0.590%) indicando esto que los frutos recubiertos presentan menor pérdida de ácido cítrico asociadas al comportamiento con la disminución del consumo de ácidos durante el proceso de respiración y esto puede ser a consecuencia a la protección lograda por la aplicación de recubrimientos comestibles.

La Gráfica 12, muestra la tendencia ascendente de todos los tratamientos a medida que transcurre el tiempo, presentando mayores valores de sólidos solubles, las frutillas sin recubrir (8 °Brix) en comparación a las frutillas con recubrimiento siendo la de menor valor de sólidos solubles las frutillas que tienen recubrimiento al 5% y 7% de pectina (6.5 y 7 °Brix) esto expresa que el aumento de los sólidos solubles se debe al proceso de maduración del fruto, el aumento de azúcares es producto de la hidrólisis del almidón y o síntesis de la sacarosa de igual manera de la oxidación de ácidos consumidos en la respiración.

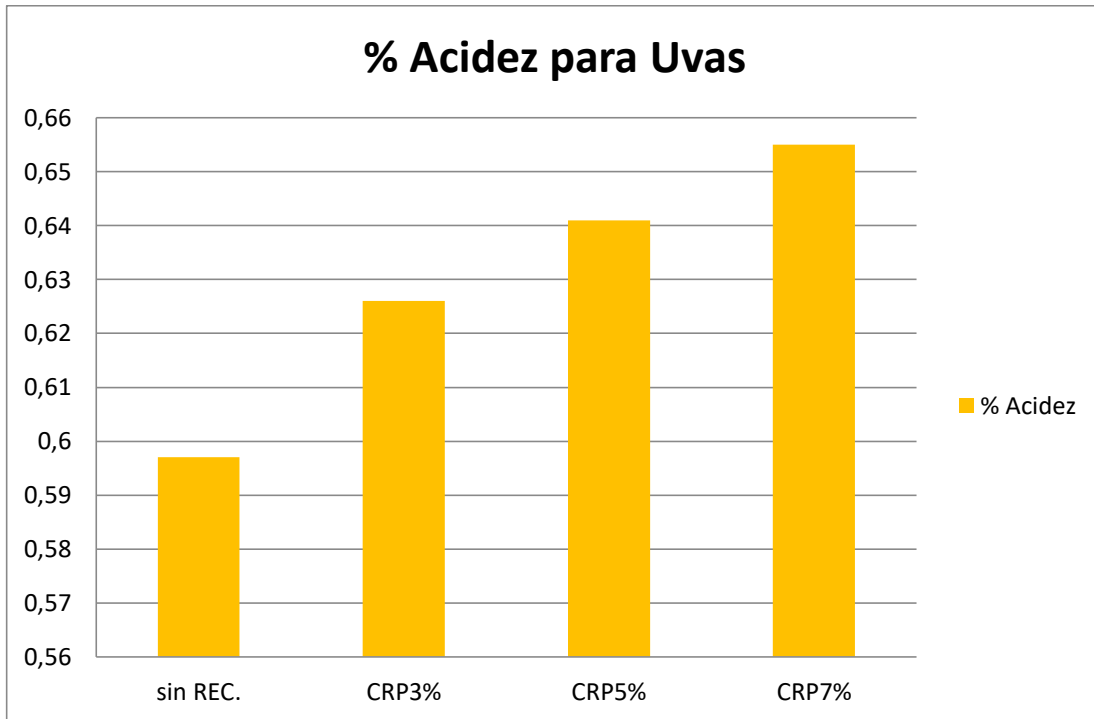
La Gráfica 13 de índice de madurez muestra una tendencia al incremento, como sucede normalmente. Analizando los resultados para los días evaluados, se puede expresar que en general se presentó un comportamiento similar entre los tratamientos, pero altamente diferente para las frutas sin recubrimiento (13.55°Brix / % Acidez), lo cual supone la efectividad de los recubrimientos comestibles cuya formulación es de 5 y 7 % de pectina (10.01 y 6.97°Brix / % Acidez). Esto se debe posiblemente a que los frutos sin recubrimiento a diferencia de los recubiertos pierden mayor cantidad de agua en procesos de transpiración y consecuentemente, se acelera el proceso de maduración y se concentran los azúcares.

**Tabla 17. Resultados finales de :%de acidez , solidos solubles e indice de madurez para las uvas.**

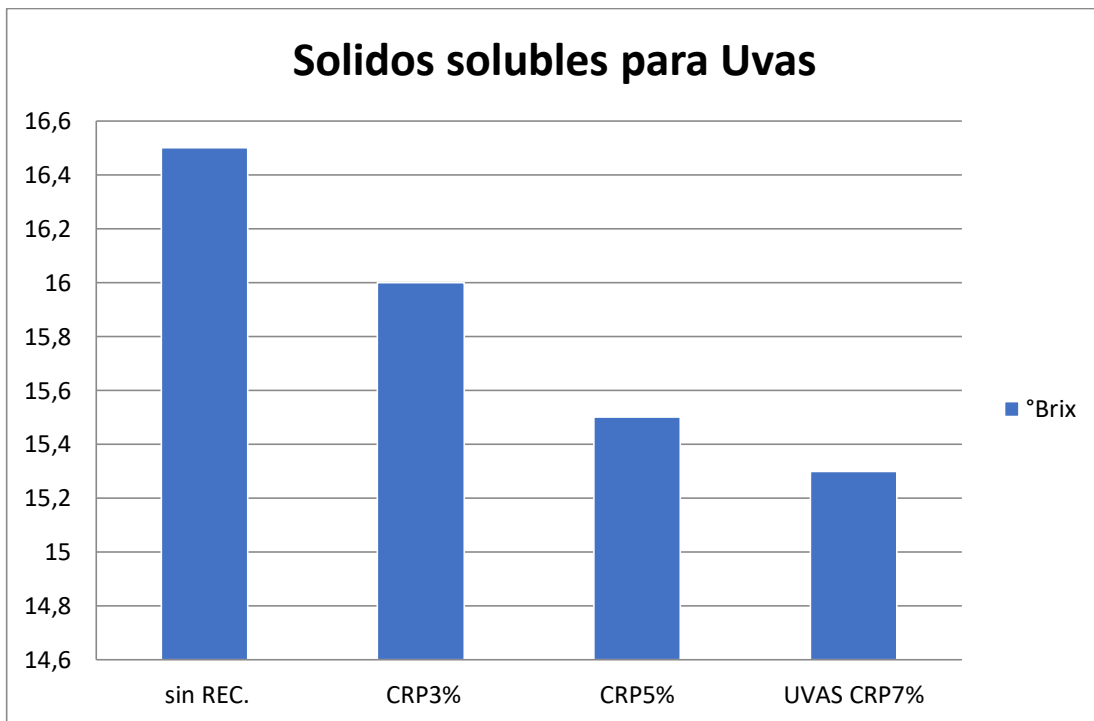
<b>Especificación</b>	<b>V<sub>gastado</sub> NaOH (ml)</b>	<b>%Acidez</b>	<b>°Brix</b>	<b>Índice De Madurez</b>
Uva sin recubrimiento (sin REC)	2.1	0,597	16.5	27.64
Uvas con recubrimiento de pectina al 3% (CRP3%)	4.3	0,626	16	25.56
Uvas con recubrimiento de pectina al 5% (CRP5%)	4.5	0.655	15.5	23.66
Uvas con recubrimiento de pectina al 7% (CRP7%)	4.6	0,670	15.3	22.83

Fuente: elaboración propia

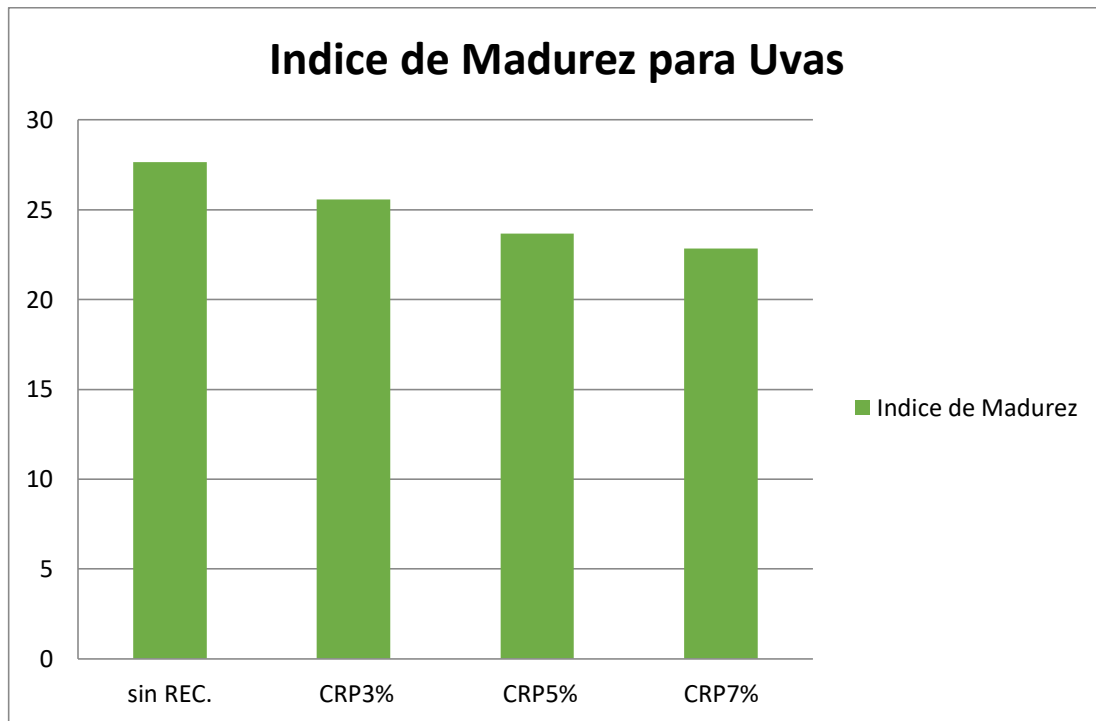
**Gráfica 14. Porcentaje de acidez, de las uvas con y sin recubrimiento.**



**Gráfica 15. Sólidos solubles, de las uvas con recubrimiento y sin recubrimiento**



**Gráfica 16. Índice de madurez, de las uvas con y sin recubrimiento**















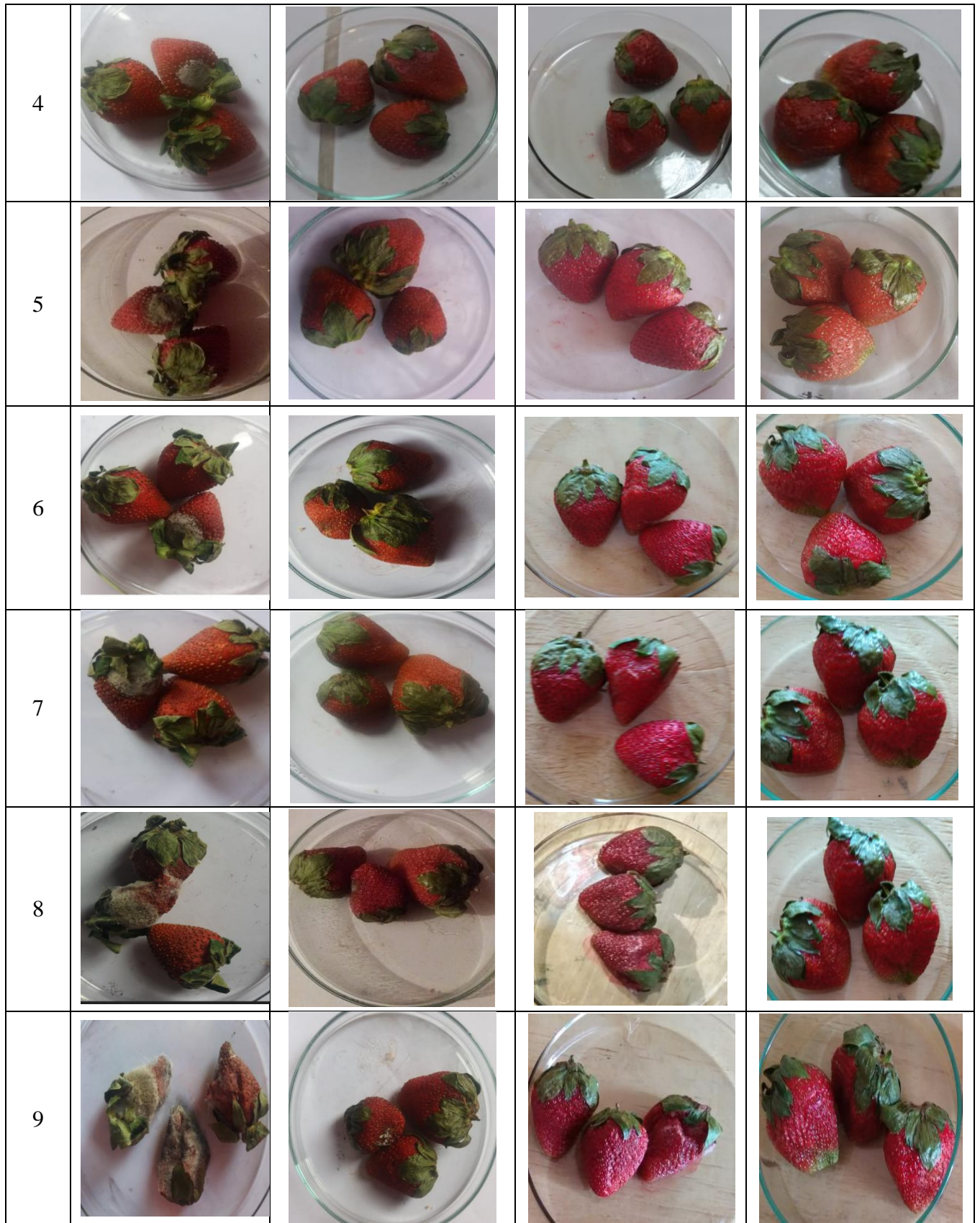
La Gráfica 14, muestra que el comportamiento de la disminución del porcentaje de acidez en un lapso de 26 días, para las uvas con recubrimiento al 7 % de pectina ,presentan menor pérdida de porcentaje de acidez (0.67%) ,seguido del recubrimiento al 5 % de pectina (0.655%), en comparación con las uvas sin recubrir que presentan valores altos de disminución de porcentaje de acidez (0.597%) indicando esto que los frutos recubiertos presentan menor pérdida de ácido málico asociadas al comportamiento con la disminución del consumo de ácidos durante el proceso de respiración y esto puede ser a consecuencia a la protección lograda por la aplicación de recubrimientos comestibles.

La Gráfica 15, muestra la tendencia ascendente de todos los tratamientos a medida que transcurre el tiempo, presentando mayores valores de sólidos solubles las uvas sin recubrir (16.5°Brix) en comparación a las uvas con recubrimiento siendo la de menor valor de sólidos solubles las uvas que tienen recubrimiento al 5% y 7% de pectina (15.5 y 15.3 °Brix) esto expresa que el aumento de los sólidos solubles se debe al proceso de maduración del fruto, el aumento de azúcares es producto de la hidrólisis del almidón y o síntesis de la sacarosa de igual manera de la oxidación de ácidos consumidos en la respiración.

La Gráfica 16, de índice de madurez muestra una tendencia al incremento, como sucede normalmente. Analizando los resultados para los días evaluados, se puede expresar que en general se presentó un comportamiento similar entre los tratamientos, pero altamente diferente para las frutas sin recubrimiento (27,64 °Brix / % Acidez), lo cual supone la efectividad de los recubrimientos comestibles cuya formulación es de 5 y 7 % de pectina (23.66 y 22.83°Brix / % Acidez). Esto se debe posiblemente a que los frutos sin recubrimiento a diferencia de los recubiertos pierden mayor cantidad de agua en procesos de transpiración y consecuentemente, se acelera el proceso de maduración y se concentran los azúcares.

#### 9.4. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS FÍSICOS Y VISUALES DE LAS FRUTILLAS CON RECUBRIMIENTO Y SIN RECUBRIMIENTO

Días	Sin recubrir	Con recubrimiento al 3% de pectina	Con recubrimiento al 5% de pectina	Con recubrimiento al 7% de pectina
1				
2				
3				



**Imagen 27. Evaluacion visual de frutillas a temperatura ambiente**



Como se puede ver en la Imagen 27 las frutillas tienden a sufrir cambios debido a que estos son propensos a descomponerse y al crecimiento de mohos por lo que se observa que las frutillas en los dos primeros días no existe cambios muy notorios en cuanto al crecimiento de moho en comparación en frutillas sin recubrir y con recubrimiento, al tercer día la frutilla sin recubrir presentan una pérdida de color y perdida de agua, mientras que las frutillas recubiertas no tienen cambios considerables, en el cuarto día las frutillas sin recubrir existe la presencia de mohos, en cambio las muestras de frutillas con recubrimiento aún no existe el crecimiento de este.

El crecimiento de moho en frutillas recubiertas ocurre a partir del séptimo día, para las frutillas recubiertas al 3% de pectina, por lo cual comprobamos que los recubrimientos comestibles mantienen las características de calidad hasta el séptimo día en comparación a las muestras de frutillas sin recubrimientos.

Mientras que para las frutillas recubiertas al 5% y 7% de pectina presentan un bajo crecimiento de moho casi insignificante a partir del octavo día en comparación con las frutillas sin recubrir, por lo tanto, se puede comprobar que los recubrimientos comestibles funcionan como una barrera de protección.

## **9.5. EVALUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE SOBRE LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LAS FRUTILLAS Y UVAS.**

### **9.5.1. Prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al olor**

Para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al olor para las frutillas sin recubrimiento, de las 30 personas evaluadoras a 23 personas que representa el 76,68% les gusto, a 7 personas que representa el 23,33 % ni les gusto ni les disgustó y a ninguno de los evaluadores les disgusto. Para el caso de las frutillas con el recubrimiento a 12 personas (40%) les gusto y a 18 personas (60%) no les gusto ni les disgusto.

**Gráfica 17. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al olor de frutillas sin recubrir vs recubiertas.**



En la evaluación del olor (ver Gráfica 18) para las uvas sin recubrimiento 30 personas manifestaron ni gusto ni disgusto (100%), para las uvas con recubrimiento 15 personas (50%) manifestaron gusto por las mismas, 15 personas (50%) expresaron presentar ni gusto ni gusto por las uvas y a ninguno de las personas les disgusto.

**Gráfica 18. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al olor de uvas sin recubrimiento vs con recubrimiento.**

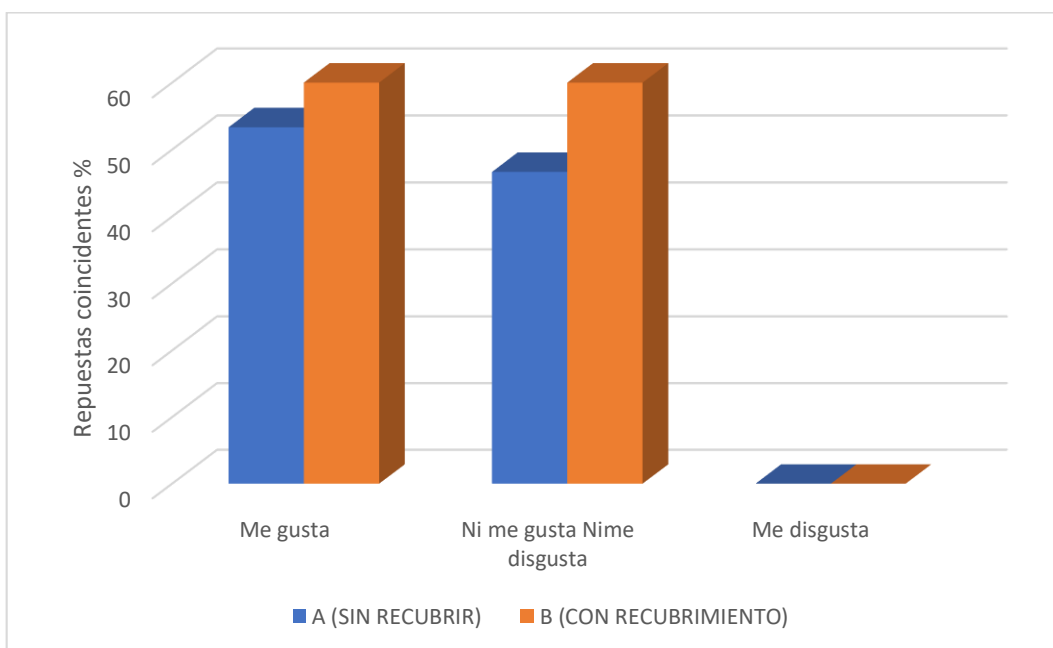


Los resultados indican que al aplicar el recubrimiento a las frutas impiden el desprendimiento de aromas de las mismas, los resultados revelan que las aplicaciones del recubrimiento no generan modificaciones en estas propiedades, evidenciando que los diferentes olores de los mariales utilizados en su elaboración se atenuaron a tal punto que resultaron ser imperceptibles para el consumidor.

### 9.5.2. Prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al brillo

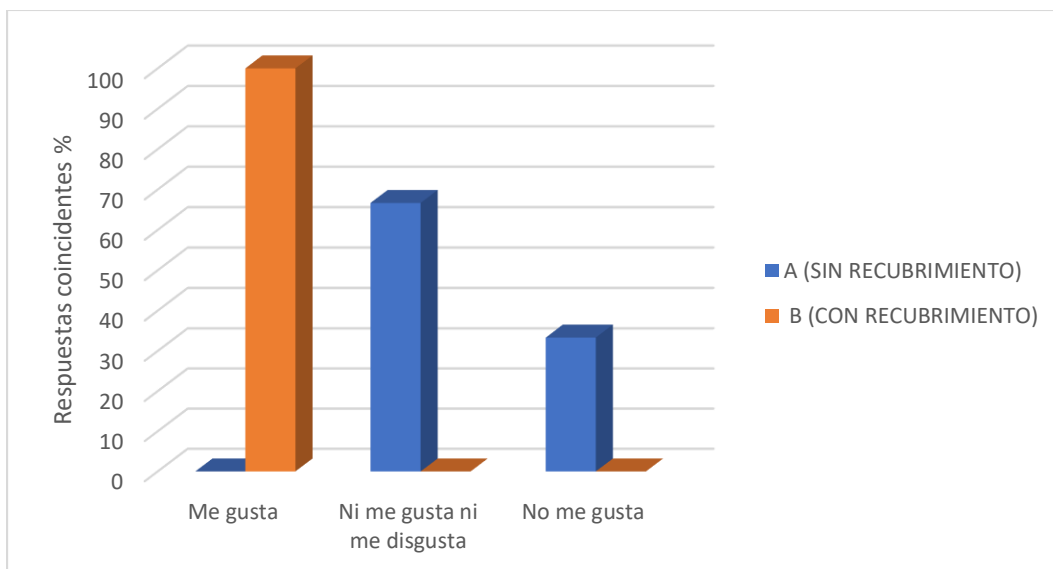
La evaluación del brillo de las frutillas (ver Gráfico 19), para las frutillas sin recubrimiento a 16 personas (53,33%) les gusta a 14 personas (46,67%) ni les gusta ni les disgusta y 0% de personas presentaron disgusto por las mismas, las frutillas con recubrimiento a 18 personas (60%) indicaron que les gusta y 12 personas (40%) ni gusto ni disgusto.

**Gráfica 19. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al brillo de frutillas sin recubrimiento vs con recubrimiento.**



La prueba del brillo (ver Gráfico 20.) en las uvas sin recubrimiento ni gusto ni disgusto a 20 personas (66,67%) y a 10 personas no les gusto (33, 33%) y 0 personas presentaron un gusto por las mismas, para las uvas recubiertas a las 30 personas les gusto (100%).

**Gráfica 20. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al brillo de uvas sin recubrimiento vs con recubrimiento.**



La prueba indica que el brillo de las uvas recubiertas fue del agrado de las 30 personas que evaluaron está característica debido a que la aplicación del recubrimiento comestible es capaz de modificar el brillo otorgándole un aspecto más llamativo y agradable para el gusto de las personas. Y en el caso de las frutillas fue indiferente debido a que el brillo del recubrimiento no resalta al ser aplicado.

### 9.5.3. Prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al textura

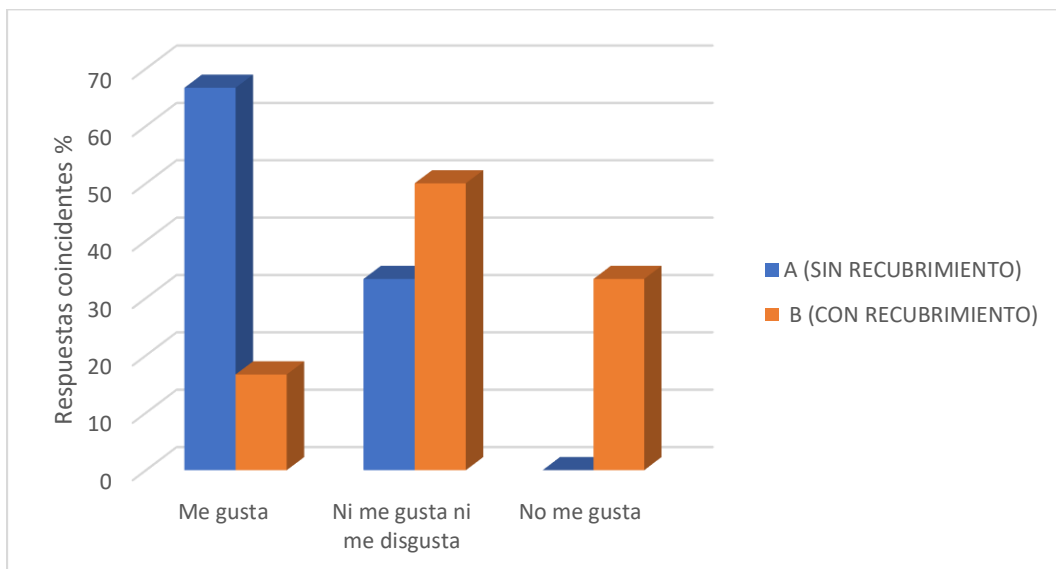
La evaluación de textura (ver Gráfico 21.) En frutillas sin recubrimiento a 26 personas (86,67%) les gusto, a 4 personas (13,33%) ni les gusto ni les disgusto. Para las frutillas recubiertas a 20 personas (66,67%) les gusto, a 10 personas (33,33%) ni les gusto ni les disgusto y a ninguna persona les disgusto.

**Gráfica 21. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto a la textura de frutillas sin recubrimiento vs con recubrimiento.**



Las pruebas de textura (ver Gráfica 22.) en las uvas sin recubrimiento muestran que 20 personas (66,67%) les gusta y 10 personas (33,33%) no les gusta ni les disgusta y para las uvas con recubrimiento muestra que a 5 personas (16,67%) les gusta y 15 personas (50%) ni les gusta ni les disgusta y a 10 personas (33,33%) les disgusta.

**Gráfica 22. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto a la textura de uvas sin recubrimiento vs con recubrimiento.**

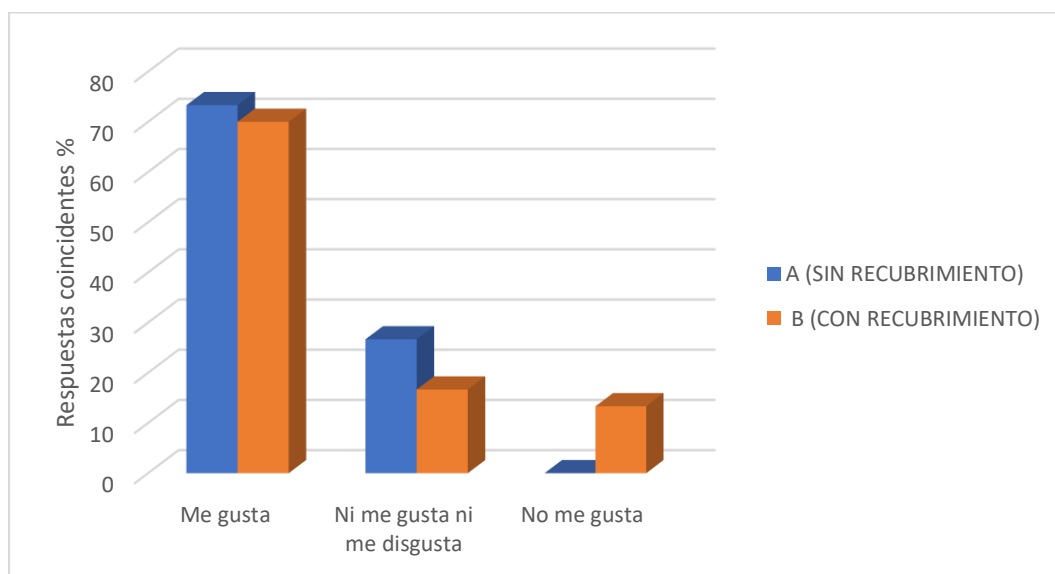


Los resultados obtenidos muestran que a las personas evaluadoras les gusto más las uvas sin recubrimiento debido a que las uvas sin recubrir son más lisas en comparación con las uvas con recubrimiento. Para las frutillas los evaluadores no percibieron algún tipo de diferencia en cuanto a las frutillas sin recubrimiento y con recubrimiento.

#### 9.5.4. Prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al sabor

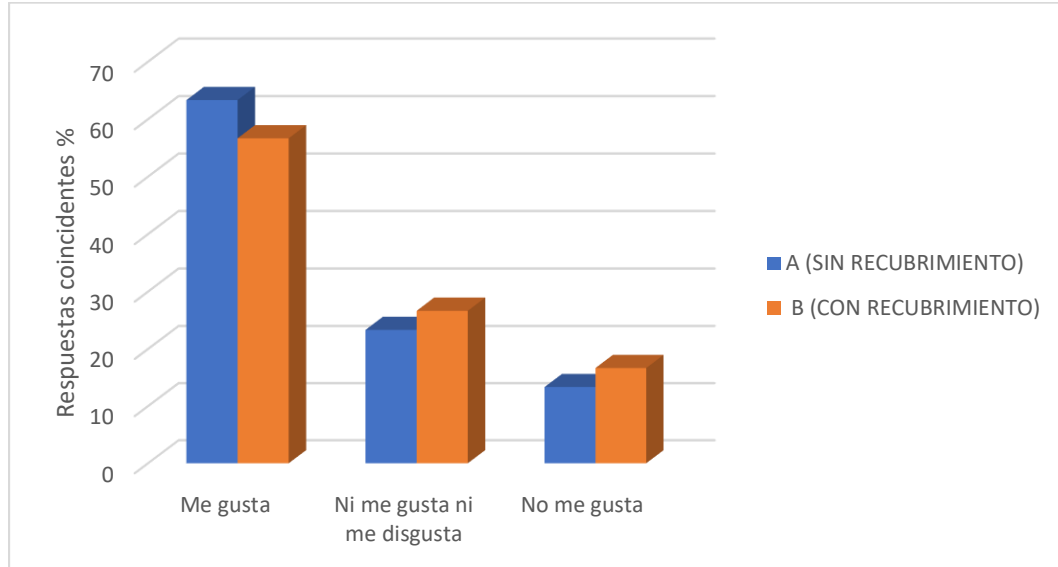
Las pruebas de sabor (ver Gráfico 23.) para las frutillas sin recubrimiento a 22 personas (73,33%) les gusto, a 8 personas (26,67%) ni les gusto ni les disgusto, para las frutillas con recubrimiento a 21 personas (70%) indican un gusto por las mismas, 5 personas (16,67%) ni les gusto ni les disgusto y a 4 personas (13,33%) les disgusto.

**Gráfica 23. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al sabor de frutillas sin recubrimiento vs con recubrimiento.**



Las pruebas de sabor (ver Gráfica 24.) de las uvas sin recubrir a 19 personas les gusto (63,33%), a 7 personas no les gusto ni les disgusto (23,33%) y a 4 personas no les gusto (13,34%) por otro lado las uvas con recubrimiento a 17 personas les gusto (56,67%), 8 personas no les gusto ni les disgusto (26,66%) y a 5 personas no les gusto (16,67%).

**Gráfica 24. Resultados obtenidos para la prueba de medición del grado de satisfacción en cuanto al sabor de uvas sin recubrimiento vs con recubrimiento.**

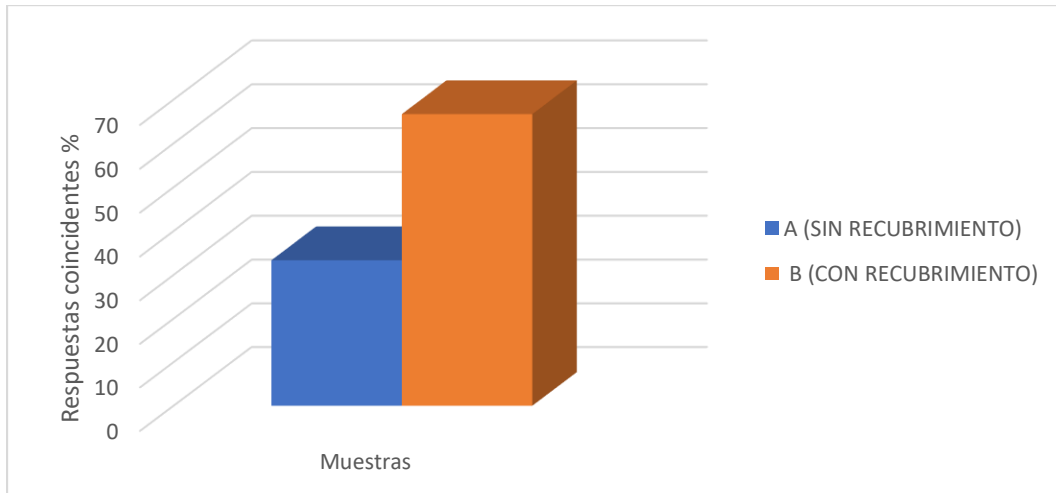


La evaluación del sabor no presentó diferencia significativa en cuanto al gusto para ambas frutas con recubrimiento y sin recubrimiento habiendo una leve diferencia de porcentaje entre ambas, las películas a base pectina son de sabor dulce imperceptible, lo cual comprueba que los recubrimientos no afectan por completo al sabor original de las frutas.

#### **9.5.5. Grado de satisfacción en cuanto a la apariencia**

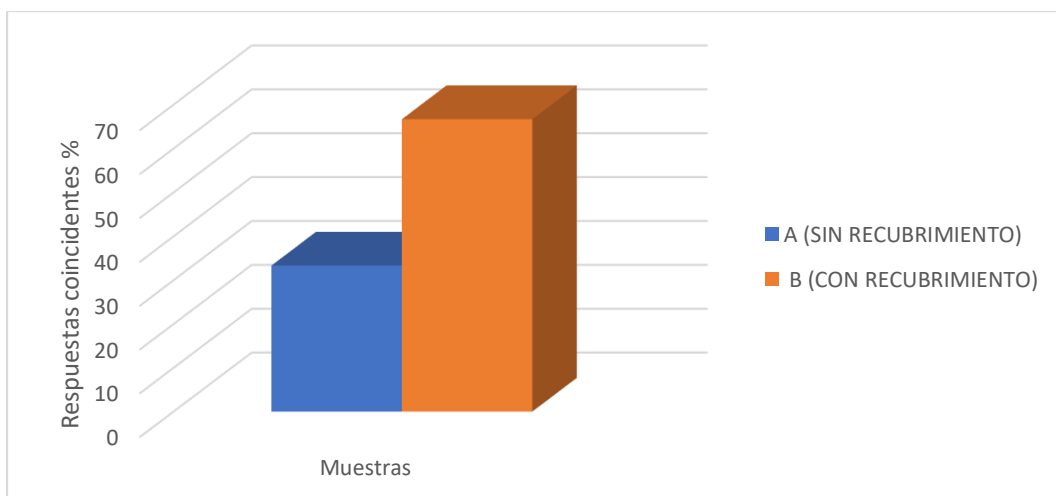
Los resultados para la apariencia general (ver Gráfico 25.) de las frutillas sin recubrir y frutillas recubiertas muestran que a 16 personas (53,33%) prefieren las frutillas sin recubrir y a 14 personas (46,67%) les gusta las frutillas con recubrimientos. Los resultados de la evaluación muestran que no hay diferencias significativas, se puede deducir que el recubrimiento aplicado no afecta a la apariencia general de las frutillas, siendo imperceptible para el consumidor.

**Gráfica 25. Resultados obtenidos para la prueba de preferencia de frutillas sin recubrimiento vs. frutillas recubiertas.**



Los resultados para la apariencia general (ver Gráfico 26.) de uvas sin recubrir y uvas recubiertas muestran que a 10 personas (33,33%) prefieren las uvas sin recubrir y a 20 personas (66,67%) les gusta las uvas con recubrimiento debido a que las uvas con recubrimiento presentan un aspecto llamativo. Las personas evaluadoras prefieren las uvas con la aplicación del recubrimiento, se puede deducir que el recubrimiento aplicado afecta de gran manera a la apariencia general de las uvas.

**Gráfica 26. Resultados obtenidos para la prueba de preferencia de uvas sin recubrimiento vs. uvas recubiertas.**





## 10. CONCLUSIONES

Se logró obtener con éxito las películas y recubrimientos comestibles a base de pectinas obtenidas de las cascaras de naranja y toronja, las formulaciones de las películas y recubrimientos no presentan olor ni sabor característico, además que son películas delgadas y homogéneas.

- Se identificó las pectinas por comparación mediante espectros de infrarrojo como se muestra en la sección 9.1. Se utilizó como pectina patrón a la pectina cítrica comercial para su posterior comparación con la pectina obtenida experimentalmente, en la cual se pudo evidenciar que los grupos funcionales presentan vibraciones en casi las mismas frecuencias, esto se puede observar de la mejor manera en la Tabla 3 y en la Figura 15, Figura 16 y Figura 17. Donde se muestra la presencia de grupos funcionales característicos de la pectina. Para la interpretación de huella digital de los grupos funcionales de la pectina patrón como para las pectinas obtenidas experimentalmente se basó en la tabla de frecuencias características de absorción IR de grupos funcionales.
- Se realizó el estudio de la cinética de secado de las películas comestibles a una temperatura de 40°C el estudio se muestra con mayor detalle en la sección 9.2.1., 9.2.2. y 9.2.3 donde se puede apreciar que la concentración de pectina en la formulación de la película influye en la velocidad de secado, así como en el tiempo de secado debido al contenido de humedad inicial de las películas, es decir cuanto más sea el contenido de humedad de las películas mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo.
- Las propiedades físicas de las películas tienen una relación directa con la formulación de las películas, el espesor aumento de manera significativa al incrementar la concentración de pectina como se puede ver en la tabla 7, la solubilidad de las películas comestibles, se detalla en la tabla 9 y la gráfica 10 observándose que a medida que se aumenta la concentración de pectina la solubilidad disminuye. Por otra parte, la

capacidad de ruptura de las películas que se detallan en las Tablas 10 y 11 indica que el incremento de concentración de la pectina, mayor es la tensión necesaria a aplicar para alcanzar una deformación.

- Se realizó la caracterización estructural de las películas comestibles por microscopía electrónica de barrido (SEM) visualizándolas estas por una sola vez, las micrografías obtenidas muestran que la superficie de las películas presenta una estructura homogénea y lisa.
- Se recubrieron las frutas (frutillas y uvas) con las diferentes formulaciones preparadas, concluyéndose que los recubrimientos comestibles a base de pectina, mejoran la calidad de las frutas tratadas retrasando la maduración y deterioro de los mismos, preservando de tal forma sus atributos, siendo que las películas a base de pectina al 5 % son más efectivas en comparación a las películas de pectina al 3% y 7 % que se detalla en la sección 9. 3. Además que mejora la apariencia visual de los frutos, los recubrimientos tuvieron una buena adherencia y estabilidad, con la ayuda de la evaluación sensorial se confirmó que no hubo cambios o alteraciones significativas en las propiedades organolépticas de los frutos recubiertos, es decir la presencia de olores y sabores desagradables.

Luego de la medición de las propiedades de las películas comestibles obtenidas a base de pectina, puede concluirse que es viable elaborarlas, las cuales no requieren una resistencia a la tracción muy alta y no debe estar expuesto al agua ni a unas condiciones de humedad elevadas debido a que son susceptibles a la degradación por agua; por lo tanto el uso de los recubrimientos puede representar una excelente propuesta en el recubrimiento de los frutos a escala comercial, con el fin de tratar de solucionar la no biodegradabilidad de los plásticos convencionales.

## 11. RECOMENDACIONES

- Emplear algunos compuestos hidrofóbicos y otros aditivos para mejorar la calidad de la película.
- Determinar la propiedad de barrera contra el oxígeno en este tipo de materiales ya que el oxígeno está involucrado en muchas reacciones de degradación en alimentos.
- Realizar estudios complementarios que evalúen la posibilidad de obtener recubrimientos capaces de incluir agentes antimicrobianos y antioxidantes.
- Evaluar el aporte nutricional que brinda el recubrimiento comestible elaborado a partir de concentrado de pecina y glicerol.
- Diseñar los métodos y equipos de aplicación del recubrimiento comestible a gran escala.
- Realizar estudios de factibilidad económica para el montaje de una planta para la elaboración de este tipo de recubrimiento comestible y producción a gran escala.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Avila, J., & Cipiran, V. (1996). *“Características de la pectina”*, México 1996. Mexico.
- Bozzola, J., & Rusell , L. (2000). *Introducción a la Microscopía electrónica aplicada a las ciencias biológicas*.
- Calvo, M. (2011). *Bioquímica De los Aalimentos*. Obtenido de bioquímica : <http://milkci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinal.html>
- Cayot, N., & Dury Brun, C. (2008). *Measurement of transport phenomena of volatile compounds*.
- Chuta, T. F. (2017). optimizacion del proceso de secado de peliculas biodegradables formuladas a partir de suero de leche y goma de tara. Arequipa, Peru.
- Correa Guerrero , A. (Noviembre de 2014). *Microscopio electronico de barrido Partes y función*. Ciudad de Mexico. Obtenido de <https://unabiologaenlacocina.wordpress.com/about/>
- EcuRed. (2019). *El microscopio electrónico*. Obtenido de <https://www.mundomicroscopio.com/microscopio-electronico/>
- Fernandez, P. (23 de Diciembre de 2018). *Microscopio electronico*. Obtenido de <https://www.microscopioelectronico.top/partes-del-microscopio-electronico/>
- Ferreira. (2007). *Pectinas: aislamiento ,caracterizacion y produccion a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial* . colombia.
- Gontard, N. (1995). Water vapour permeability of edible bilayer films of wheat gluten and lipids. *International Journal of Food Science and Technology*.
- Grau, M. (2006). *Recubrimientos comestibles y sustancias de origen*. España.
- Guerrero, P. (2011). Characterization of soy protein-based films prepared with acids and oils by compression. *Journal of Food Engineering*.
- Guilbert, s., Gontard, N., & Gorris, L. (1996). *Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings*.

- Han, J. H., & Gennadios, A. (2005). Edible films and coatings: a review. *Innovations in Food Packaging*.
- Jooyandeh, H. (2011). protein films and coatings. *Pakistan Journal of*.
- Kester, J. J., & Fennema, O. (1986). *Edible films and coatings: A review. Food Technology*.
- Krochta, J. M. (2002). *Proteínas como materia prima para películas y recubrimientos: definiciones, actual estado y oportunidades. En películas y recubrimientos a base de proteínas*.
- Labeaga, V. A. ( 2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y*.
- Mamani, C. P. (2012). Estudio comparativo de pectina e hidroxipropilmetilcelulosa en la formulación de comprimidos matriciales para la liberación controlados de fármacos hidrosolubles. Madrid.
- Martínez, D. C. (2013). *Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolímero para prolongar la vida útil de frutas frescas*. Bogota, Colombia.
- Martínez, J. L. (Marzo de 2009). *Espectroscopia Infrarroja*. Obtenido de [https://www.upct.es/~minaees/espectroscopia\\_infrarroja.pdf](https://www.upct.es/~minaees/espectroscopia_infrarroja.pdf)
- Mercosur. (2015). *Farmacopea Mercosur: Espectrofotometría Infrarrojo*. Obtenido de [http://www.anmat.gov.ar/webanmat/mercosur/ACTA02-13/P\\_Res\\_Monografia\\_Infrarrojo\\_ES.pdf](http://www.anmat.gov.ar/webanmat/mercosur/ACTA02-13/P_Res_Monografia_Infrarrojo_ES.pdf)
- Muños, O. F. (2011). *Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos eco tipos de cocona (Solanum sessiliflorum)*. Bogota.
- Olivas , G. I., & Barbosa, G. V. (2005). Edible coating for fresh-cut fruits. 657-670.
- Park , H. J., & Chinnan , M. S. (1995). Park H.J., Chinnan M. S. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. . 497 -507.
- Reyes, M. A. ( 2011). *Generalidades y Aplicación de Películas y Recubrimientos Comestibles en la Cadena Hortofrutícola*. Buenavista, Saltillo Coahuila, Mexico.
- Roblejo, P. L. (2009). Evaluacion de la aplicacion de cobertura de quitosano en la conservacion de tomates. Cuba.

- Rodríguez, J. G. (Enero de 2019). *Fundamentos de la Microscopia*. Obtenido de file:///C:/Users/PC6/Downloads/2019-01-14%20Material%20Curso%20SEM%20UCO.pdf
- Rojas, M. (2006). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 438-447.
- Romero, L., & Estrada, J. (2011). *elaboración de una película comestible a base de colágeno incorporado con nisina como agente antimicrobiano para reducir la pérdida de humedad y oxidación de las grasas en filetes de carne de cerdo en refrigeración*. Cartagena.
- Rubinson K.A., R. J. (2000). *Análisis Instrumental*. España-Madrid: Pearson Educación.
- Saito, G. H. (Febrero de 2011). *INECOL*. Obtenido de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/723-microscopia-electronica-de-barrido-y-microanalisis-de-elementos-del-cluster-cientifico-y-tecnologico-biomimic>
- Silvas, E. O. (2017). *Elaboración y Caracterización de Películas de Mucilago de Nopal-Pectina: Efecto de la Concentración del Mucilago de Nopal en las Propiedades Fisicoquímicas y Mecánicas*. Mexico.
- Velásquez, A. M. (2018). *Síntesis y Caracterización de Polímeros*.
- Vik, L. (Diciembre de 2019). *Idocpub*. Obtenido de <https://idoc.pub/documents/partes-de-espectrofotometro-infrarrojo-klzzew6e3glg>
- Viruces. (Abril de 2019). *wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio\\_electr%C3%B3nico\\_de\\_transmisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio_electr%C3%B3nico_de_transmisi%C3%B3n)
- Wiles. (1971). *Estructura de la molécula de la pectina*. Mexico.

### 13. ANEXOS

#### ANEXO 1: Determinación del porcentaje de rendimiento de las pectinas

Para el rendimiento de pectina a partir de cascaras de naranja y toronja se realizó por cinco veces para una masa de 500 g, a un pH de 3 y a una temperatura de 80°C

<b>RENDIMIENTO DE PECTINA A PARTIR DE CASCARAS DE NARANJA</b>		<b>RENDIMIENTO DE PECTINA A PARTIR DE CASCARAS DE TORONJA</b>	
m <sub>pectina seca</sub>	%RENDIMIENTO	Pectina seca	%RENDIMIENTO
6,0521	12,1042	7,4632	14,92
5,9505	11,901	6,9887	13,97
5,2201	10,4402	7,1097	14,21
6,0222	12,0444	7,3069	14,61
5,8961	11,7922	6,9987	13,99
<b>Promedio</b>	<b>11,6564%</b>	<b>Promedio</b>	<b>14,35%</b>

## ANEXO 2: DETERMINACIÓN DEL SÓLIDO SECO

Para la determinación del sólido seco promediar los tres últimos valores de masa constante para cada caso a continuación se muestra los cálculos y resultados.

N°	Masa de la película a base de pectina al 3 %	Masa de la película a base de pectina al 5%	Masa de la película a base de pectina al 7%
1	5.4	5.8	6.8
2	5.1	6.1	6.5
3	5.1	6.1	6.5
<b>Promedio</b>	<b>5.2</b>	<b>6</b>	<b>6.6</b>

Fuente: Elaboración propia



### **ANEXO 3: Determinación de humedad y velocidad de secado**

Para la determinación de humedad y velocidad de secado se utilizan las ecuaciones empleadas

#### **Humedad en base seca:**

$$X = \frac{X_T - S_S}{S_S} = \left[ \frac{Kg \text{ Agua}}{Kg \text{ Solido seco}} \right]$$

Donde:

X= Humedad en base seca

X<sub>T</sub>= Peso de la muestra

S<sub>S</sub>= Solido seco

#### **Humedad promedio:**

$$X = \frac{\sum X_1, X_2}{2} = \left[ \frac{Kg \text{ Agua}}{Kg \text{ Solido seco}} \right]$$

#### **Velocidad de secado:**

$$W = \frac{S_S}{A} * \frac{X_f - X_i}{t_f - t_i} = \left[ \frac{Kg \text{ Agua}}{h * m^2} \right]$$

Donde:

X<sub>i</sub>= Humedad en base seca

S<sub>S</sub> = Solido seco

t = tiempo

A = área de la bandeja

## ANEXO 4: FORMATO PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL



### FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA LA UVA



La siguiente encuesta tiene por objeto identificar los gustos y preferencias.

1. Observe las muestras que se presentan a continuación. Por favor marque con una x su opinión acerca de cada una, en referencia a su olor:

A		B	
Me gusta		Me gusta	
Ni me gusta ni me disgusta		Ni me gusta ni me disgusta	
Me disgusta		Me disgusta	

2. Observe las muestras que se presentan a continuación. Por favor marque con una x su opinión acerca de cada una, en referencia a su brillo:

A		B	
Me gusta		Me gusta	
Ni me gusta ni me disgusta		Ni me gusta ni me disgusta	
Me disgusta		Me disgusta	

3. Observe las muestras que se presentan a continuación. Por favor marque con una x su opinión acerca de cada una, en referencia a su textura:

A		B	
Me gusta		Me gusta	

Ni me gusta ni me disgusta		Ni me gusta ni me disgusta	
Me disgusta		Me disgusta	

4. Pruebe las muestras que se presentan a continuación por favor marqué con una X la casilla que indique su opinión.

A		B	
Me gusta		Me gusta	
Ni me gusta ni me disgusta		Ni me gusta ni me disgusta	
Me disgusta		Me disgusta	

5. De acuerdo a la evaluación de los puntos anteriores, ¿Cuál fue de su preferencia? por favor marqué con una X la casilla que indiqué su opinión.

A		B	
---	--	---	--



## FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA FRUTILLA



La siguiente encuesta tiene por objeto identificar los gustos y preferencias.

1. Observe las muestras que se presentan a continuación. Por favor marque con una x su opinión acerca de cada una, en referencia a su olor:

A		B	
Me gusta		Me gusta	
Ni me gusta ni me disgusta		Ni me gusta ni me disgusta	
Me disgusta		Me disgusta	

2. Observe las muestras que se presentan a continuación. Por favor marque con una x su opinión acerca de cada una, en referencia a su brillo:

A		B	
Me gusta		Me gusta	
Ni me gusta ni me disgusta		Ni me gusta ni me disgusta	
Me disgusta		Me disgusta	

3. Observe las muestras que se presentan a continuación. Por favor marque con una x su opinión acerca de cada una, en referencia a su textura:

A		B	
Me gusta		Me gusta	
Ni me gusta ni me disgusta		Ni me gusta ni me disgusta	

Me disgusta		Me disgusta	
-------------	--	-------------	--

4. Pruebe las muestras que se presentan a continuación por favor marqué con una X la casilla que indique su opinión.

A		B	
Me gusta		Me gusta	
Ni me gusta ni me disgusta		Ni me gusta ni me disgusta	
Me disgusta		Me disgusta	

5. De acuerdo a la evaluación de los puntos anteriores, ¿Cuál fue de su preferencia? por favor marqué con una X la casilla que indiqué su opinión.

A		B	
---	--	---	--

## ANEXO 5: MUESTRAS DE FRUTAS CODIFICADAS PARA ANÁLISIS SENSORIAL



Frutilla sin recubrimiento vs Frutilla con recubrimiento



Uva sin recubrimiento vs Uva con recubrimiento