

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN  
QUÍMICA DE LAS PECTINAS DE LAS  
CÁSCARAS DEL MARACUYÁ AMARILLO  
(*Passiflora edulis*, *Var Flavicarpa  
degener*), GRANADILLA (*Passiflora  
ligularis Juss*) Y TUMBO SERRANO  
(*Passiflora mollísima H.B.K. Bailey*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**DIANA CAROLINA LEÓN MEJÍA**  
**JOHN DAVID RIVEROS CONES**

**Callao, Mayo, 2014**

**PERÚ**

## PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue sustentada ante el JURADO DE SUSTENTACIÓN conformada por los siguientes Docentes Ordinarios:

<b>Ing. María Estela Toledo Palomino</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Ing. César Gutiérrez Cuba</b>	<b>: Secretario</b>
<b>Ing. Gladis Enith Reyna Mendoza</b>	<b>: Vocal</b>
<b>Ing. Luis Américo Carrasco Venegas</b>	<b>: Asesor</b>

Tal y como está asentado en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis N° 02, Folio N° 59, Acta N° 242, de fecha VEINTINUEVE DE MAYO DEL 2014, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación con Sustentación de Tesis, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082 – 2011 – CU de fecha 29 de Abril del 2011.

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a nuestros padres, por su paciencia e incondicional apoyo; a aquellas personas que influyeron directa o indirectamente en cada paso de esta investigación y a quien tenga la firme convicción de investigar a pesar de los obstáculos y sacrificios que ello conlleve.*

## AGRADECIMIENTO

*Al Centro Experimental Tecnológico (CET), entidad que pertenece al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Callao, que subvencionó parte del total de los gastos de nuestra investigación.*

*A nuestro asesor principal, Dr. Carrasco Venegas, Luis Américo, por su tiempo y consejos durante la presentación del plan de tesis y en el desarrollo de la misma; a los docentes: Msc. Cáceres Paredes, José Ramón (FIA-UNAC) quien con sus sugerencias nos apoyó en la estructura del plan de tesis; Ing. Mercado del Pino, Ana Rosario (FIA-UNAC) y Jefa del CET, quien nos aconsejó en las diversas metodologías de análisis químicos utilizadas y por su invaluable apoyo durante el desarrollo de la tesis y al Ing. Natividad Marín, Leynard (FIQ – UNAC), supervisor del CET, quien nos enseñó el adecuado manejo de los diversos equipos del Laboratorio de Análisis Químicos y nos apoyó en las mediciones realizadas durante la experimentación, además que con sus consejos y ánimos constantes logramos avanzar a través del largo y extenuante camino del desarrollo de la tesis.*

*A todo el personal que forma parte del Centro Experimental Tecnológico, especialmente al Técnico encargado del mantenimiento y seguridad de los equipos del laboratorio, Sr. Paulino Veliz, Walter Octavio, quien con su valiosa ayuda nos permitió culminar satisfactoriamente la tesis; a nuestros amigos tesisistas y practicantes del Laboratorio de Análisis Químico, por su ánimo, cooperación y sugerencias.*

*A nuestras familias y a todos los amigos que conocimos durante esta etapa de investigación.*

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE GRÁFICAS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1. Identificación del problema	14
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos de la investigación	16
1.4. Justificación	16
1.5. Importancia	17
II.- MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes del estudio	19
2.2. Maracuyá amarillo	24
2.2.1. Aspectos generales	24
2.2.2. Clasificación botánica	25
2.2.3. Características de las partes principales	26
2.2.4. Composición fisicoquímica	27
2.2.5. Composición química	28
2.2.6. Usos	29
2.2.7. Producción nacional	31
2.3. Granadilla	32
2.3.1. Aspectos generales	32
2.3.2. Clasificación botánica	33
2.3.3. Características de las partes principales	34
2.3.4. Cultivo	36
2.3.5. Composición química	38
2.3.6. Usos	39
2.3.7. Producción nacional	39

2.4. Tumbo serrano	41
2.4.1. Aspectos generales	41
2.4.2. Clasificación botánica	42
2.4.3. Características de las partes principales	44
2.4.4. Cultivo	46
2.4.5. Composición química	47
2.4.6. Usos	48
2.4.7. Producción nacional	49
2.5. Pectinas	51
2.5.1. Síntesis histórica	51
2.5.2. Generalidades	52
2.5.3. Tipos de pectina	58
2.5.4. Sustancias pécticas	63
2.5.5. Enzimas pécticas	71
2.5.6. Propiedades químicas	76
2.5.7. Propiedades físicas	78
2.5.8. Obtención de pectina	81
2.5.9. Precipitación de la pectina	86
2.5.10. Purificación de la pectina	87
2.5.11. Mecanismo de formación de gel de pectina	90
2.5.12. Usos de la pectina	93
2.5.13. Importación de la pectina	98
2.6. Características químicas de la pectina	100
2.6.1. Peso equivalente	100
2.6.2. Contenido de metóxilos	100
2.6.3. Ácido galacturónico	102
2.6.4. Grado de esterificación	102
2.7. Definición de términos utilizados	105
III. VARIABLES E HIPÓTESIS	109
3.1. Variables de la investigación	109
3.2. Operacionalización de las variables	110

3.3. Hipótesis general y específica	111
IV. METODOLOGÍA	112
4.1. Tipo de investigación	112
4.2. Diseño de la investigación	113
4.3. Muestra	114
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	114
4.4.1. Lugar de ejecución	114
4.4.2. Materiales, reactivos y equipos	114
4.4.3. Método de experimentación	116
4.5. Procedimientos de recolección de datos	134
4.5.1. Fuente primaria	134
4.5.2. Fuente secundaria	134
4.6. Procesamiento y análisis de datos	134
4.6.1. Pruebas preliminares	134
4.6.2. Rendimiento óptimo de la extracción de la pectina	136
4.6.3 Características químicas de la pectina	136
V. RESULTADOS	137
5.1. Resultados parciales	137
5.2. Resultados finales	148
VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	167
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados	167
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares	167
6.2.1. Contrastación sobre los resultados parciales	167
6.2.2. Contrastación sobre los resultados finales	174
VII. CONCLUSIONES	184
VIII. RECOMENDACIONES	185
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187
ANEXOS	197

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1: Clasificación botánica de la maracuyá	26
Cuadro 2.2: Composición fisicoquímica de la maracuyá	28
Cuadro 2.3: Composición por cada 100g de fruta de maracuyá	29
Cuadro 2.4: Producción, superficie cosechada, rendimiento y precio en chacra del maracuyá amarillo, según región. 2010	31
Cuadro 2.5: Clasificación botánica de la granadilla	34
Cuadro 2.6: Composición por cada 100g de fruta de granadilla	38
Cuadro 2.7: Producción, superficie cosechada, rendimiento y precio en chacra de la granadilla, según región. 2010	40
Cuadro 2.8: Zonas del Perú donde el tumbo serrano existe	42
Cuadro 2.9: Clasificación botánica del tumbo serrano	43
Cuadro 2.10: Nombres del tumbo serrano en el extranjero	43
Cuadro 2.11: Características de las partes del tumbo	46
Cuadro 2.12: Composición por cada 100g de fruta de tumbo	48
Cuadro 2.13: Producción, superficie cosechada, rendimiento y precio en chacra del tumbo serrano, según región. 2010	49
Cuadro 2.14: Resumen de la composición por cada 100 g de los tres frutos	50
Cuadro 2.15: Tipos de gelificación de pectina de alto metóxilo según su porcentaje de esterificación	60

Cuadro 2.16: Tipos de gelificación de pectina de bajo metóxilo según su porcentaje de esterificación	62
Cuadro 2.17: Porcentaje de pectato de calcio total en frutos amazónicos, andinos y costeños	88
Cuadro 2.18: Potencial de otros frutos y vegetales	89
Cuadro 2.19: Contenido de pectinas en vegetales y tejidos vegetales	89
Cuadro 2.20: Demanda de pectina en el Perú	98
Cuadro 2.21: Importación relativa de pectina por país de origen	99
Cuadro 2.22: Precio promedio de pectina en el Perú	99
Cuadro 2.23: Relación entre el grado de esterificación y el contenido de metóxilo en pectina	101
Cuadro 4.1: Variables del diseño factorial para la hidrólisis	136
Cuadro 5.1: Constantes físicas de la materia prima	137
Cuadro 5.2: Rendimientos de la materia prima	137
Cuadro 5.3: Características fisicoquímicas de la materia prima	138
Cuadro 5.4: Condiciones para las pruebas preliminares	138
Cuadro 5.5: Datos de la prueba preliminar A	139
Cuadro 5.6: Datos de la prueba preliminar B	140
Cuadro 5.7: Datos de la prueba preliminar C	141
Cuadro 5.8: Datos de la prueba preliminar D	142
Cuadro 5.9: Datos de la prueba preliminar E	143

Cuadro 5.10: Datos de la prueba preliminar F	143
Cuadro 5.11: Observación de la precipitación con alcohol acidulado a pH 3	144
Cuadro 5.12: Datos de la prueba preliminar H	145
Cuadro 5.13: Rendimiento a diferentes temperaturas de secado	145
Cuadro 5.14: Datos de la humedad	146
Cuadro 5.15: Datos para la cantidad de cenizas	146
Cuadro 5.16: Datos para la alcalinidad de cenizas	147
Cuadro 5.17: Datos para el cálculo del peso equivalente	147
Cuadro 5.18: Datos del %Me, %AG y %GE	148
Cuadro 5.19: Datos del diseño factorial	149
Cuadro 5.20: Maracuyá amarillo - Primera repetición	150
Cuadro 5.21: Maracuyá amarillo - Segunda repetición	151
Cuadro 5.22: Maracuyá amarillo - Tercera repetición	152
Cuadro 5.23: Granadilla - Primera repetición	153
Cuadro 5.24: Granadilla - Segunda repetición	154
Cuadro 5.25: Granadilla - Tercera repetición	155
Cuadro 5.26: Tumbo - Primera repetición	156
Cuadro 5.27: Tumbo - Segunda repetición	157
Cuadro 5.28: Tumbo - Tercera repetición	158

Cuadro 5.29: Resumen de los rendimientos por cada fruta	159
Cuadro 5.30: Comparación de las características químicas	160
Cuadro 5.31: Características químicas de la pectina comercial	161
Cuadro 5.32: Características químicas de los tratamientos de la pectina del maracuyá amarillo	162
Cuadro 5.33: Características químicas de los tratamientos de la pectina de la granadilla	163
Cuadro 5.34: Características químicas de los tratamientos de la pectina del tumbo serrano	164

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Estructura histológica de la cáscara del maracuyá amarillo	24
Figura 2.2: Estructura histológica de la cáscara de la granadilla	32
Figura 2.3: Estructura histológica de la cáscara del tumbo serrano	41
Figura 2.4: Estructura de la pared celular	53
Figura 2.5: Estructura esquemática de la pectina	55
Figura 2.6: Ácido $\alpha$ -D-galacturónico (1-4)	57
Figura 2.7: Estructura la molécula de la pectina	57
Figura 2.8: Estructura de la pectina de alto metóxilo	60
Figura 2.9: Estructura de la pectina de bajo metóxilo	62
Figura 2.10: Estructura de la pectina de bajo metóxilo amidada	63
Figura 2.11: Variaciones de la protopectina a través de la maduración y sobremaduramiento	67
Figura 2.12: Estructura del ácido péctico	69
Figura 2.13: Reacción de desmetoxilación catalizada por la enzima pectinesterasa	74
Figura 2.14: Degradación enzimática de las pectinas	76
Figura 2.15: Estructura y formación del gel de pectina	90
Figura 2.16: Estructura tridimensional de la gelificación de pectina	91
Figura 2.17: Estructura de un ácido galacturónico	104

Figura 4.1: Identificación de la materia prima	117
Figura 4.2: Lavado con agua potable	118
Figura 4.3: Pesado de la pulpa en balanza digital	119
Figura 4.4: Retirado del endocarpio	119
Figura 4.5: Pelado de la cáscara	120
Figura 4.6: Cortado del mesocarpio en trozos	120
Figura 4.7: Lavado repetitivo con agua potable	121
Figura 4.8: Escaldado de los trozos cortados y lavados	121
Figura 4.9: Licuado de la muestra escaldada	122
Figura 4.10: Lavado con agua destilada	123
Figura 4.11: Filtrado y lectura de los °Brix	123
Figura 4.12: Secado de la muestra acondicionada en estufa	124
Figura 4.13: Hidrólisis ácida de la muestra acondicionada	125
Figura 4.14: Filtrado luego de la hidrólisis	126
Figura 4.15: Adición de alcohol etílico de 96° acidulado	126
Figura 4.16: Obtención de pectina en gel	127
Figura 4.17: Lavado con alcohol etílico de 70°	128
Figura 4.18: Secado en estufa de la pectina lavada	128
Figura 4.19: Molienda y almacenamientos de las pectinas	129
Figura 4.20: Determinación de humedad de las pectinas	130

Figura 4.21: Determinación de cenizas de las pectinas	131
Figura 4.22: Determinación de alcalinidad de cenizas	131
Figura 4.23: Determinación del peso equivalente	132
Figura 4.24: Determinación del contenido de metóxilo	132

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5.1: Resumen de los rendimientos por cada fruta	159
Gráfica 5.2: Comparación de las características químicas	161
Gráfica 5.3: Comparación de los PE de los 8 tratamientos	165
Gráfica 5.4: Comparación de los AG de los 8 tratamientos	165
Gráfica 5.5: Comparación de los %Me de los 8 tratamientos	166
Gráfica 5.6: Comparación de los GE de los 8 tratamientos	166

## RESUMEN

Se estudió la extracción de pectina del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis*, Var *Flavicarpa degener*), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y tumbo serrano (*Passiflora mollísima* H.B.K. Bailey) a partir del albedo (mesocarpio). Para la extracción química se fijó los siguientes parámetros: pH 2 y 3, temperatura de 80 y 95 °C y tiempo de 60 y 90 minutos, los cuales se combinaron en un diseño factorial de 8 tratamientos para cada fruta y se analizó por triplicado, los resultados han sido evaluados cuantitativa (rendimiento) y cualitativamente (contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación).

El proceso implicó un previo acondicionamiento del albedo de la fruta: inactivación de las enzimas pécticas, reducción de sólidos solubles y secado. La extracción química se llevó a cabo mediante una hidrólisis ácida utilizando ácido clorhídrico (HCl) 1 N como agente extractante, seguido de una precipitación alcohólica, para finalmente secarlo y molerlo.

Los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento N° 7 (temperatura 95 °C, pH 2 y tiempo 90 minutos) dando pectina en polvo de diferentes tonalidades de color, con un rendimiento del albedo acondicionado (completamente seco) con 21,18% para el maracuyá amarillo, 12,60 % para la granadilla y 16,06% para el tumbo serrano.

La pectina en polvo obtenida del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano fueron caracterizadas químicamente y presentaron los siguientes resultados: contenido de metóxilo (%Me) 9,05, 8,08, 9,10%; ácido galacturónico (%AG) 80,81, 79,69, 76,47% y grado de esterificación (%GE) 63,59, 57,57, 67,58%, respectivamente. Estos valores reportados fueron cercanos a los de la pectina comercial.

## ABSTRACT

Extracting pectin from maracuya amarillo (*Passiflora edulis*, Var *Flavicarpa degener*), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) and tumbo serrano (*Passiflora mollissima* H.B.K. Bailey) from albedo (mesocarp) were studied. For chemical extraction the following parameters were set: pH 2 and 3, at 80 and 95 °C and time of 60 and 90 minutes, which were combined in a factorial design of 8 treatments for each fruit and analyzed in triplicate, the results have been evaluated quantitatively (yield) and qualitatively (methoxyl, galacturonic acid and degree of esterification).

The process involved a pre-conditioning from albedo of the fruit: inactivation of pectic enzymes, soluble solids reduction and drying. Chemical extraction was carried out by acid hydrolysis using hydrochloric acid (HCl) 1 N as extracting agent, followed by alcohol precipitation, drying and finally grinding it.

The best results were obtained with treatment N° 7 (temperature 95 °C, pH 2, and time 90 minutes) giving pectin powder of different shades of color, with a yield of albedo conditioned (completely dry) of 21, 18 % for maracuya amarillo, 12,60 % for granadilla and 16,06% for the tumbo serrano.

Pectin powder obtained from the maracuya amarillo, granadilla and tumbo serrano were characterized chemically and presented the following results: methoxyl content (%Me) 9,05, 8,08, 9,10%; galacturonic acid (%AG) 80,81, 79,69, 76,47% and degree of esterification (%DE) 63,59, 57,57, 67,58 %, respectively. These reported values were close to those of commercial pectin.

## I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

### 1.1 Identificación del problema

La pectina constituye un ingrediente muy importante en la industria de los alimentos por su capacidad de formar geles, por esta razón se emplea en la fabricación de gelatinas, helados, mermeladas, etc., así como en la manufactura de fármacos y en la elaboración de plásticos.

A nivel industrial, la fuente de obtención de la pectina se encuentra limitada a las cáscaras de frutos cítricos conteniendo cerca del 25% de sustancias pécticas y del bagazo de manzana rindiendo alrededor del 15 a 18% de pectina.

Los subproductos en la industria de jugos cítricos, representan el 50% del peso de la fruta entera, éstos pueden emplearse como nutrientes en alimentación animal sin embargo sus precios no son lo suficientemente altos para proporcionar rentabilidad al proceso, de manera que el desarrollo de productos alternativos de mayor valor agregado beneficiaría a los procesadores de frutos cítricos.

Es posible la utilización de frutas como el maracuyá amarillo, la granadilla y el tumbo serrano como fuente para la extracción de pectina, ya que el cultivo tanto de las dos primeras son abundantes en nuestro país mientras que del último aun se encuentra en crecimiento; y con ello se solucionaría parte del problema ambiental del cúmulo de material de desecho de la actividad industrial.

Pero a pesar de que esta sustancia se encuentra en los frutos y vegetales que son producidos en el país, y cuya obtención se puede realizar por distintos métodos como son hidrólisis química, enzimática, entre otros; la pectina actualmente es importada y su demanda sigue en aumento.

De este modo, para la obtención de pectina como alternativa rentable al creciente desarrollo industrial, hace necesario evaluar la cantidad y calidad de pectina presente en estos frutos.

Por lo tanto existe la necesidad de "Evaluar el tipo de pectinas obtenidas de las cáscaras del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis*, Var *Flavicarpa degener*), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y tumbo serrano (*Passiflora mollísima* H.B.K. Bailey)", utilizando el método de la hidrólisis ácida y la caracterización química.

## **1.2 Formulación de problemas**

### **Problema general**

¿En qué medida las cáscaras del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano pueden constituirse en la materia prima básica para obtener pectina por hidrólisis ácida que debido a sus características químicas puedan ser utilizadas en sustitución de la pectina existente en el mercado?

### **Sub Problemas**

- a. ¿Cuáles son los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo extraída por hidrólisis ácida?
- b. ¿Cuáles son los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara de la granadilla extraída por hidrólisis ácida?
- c. ¿Cuáles son los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara del tumbo serrano extraída por hidrólisis ácida?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo general**

Obtener pectina de la cáscara del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano por hidrólisis ácida con características en su contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación que permita su utilización en la industria en sustitución de la pectina existente en el mercado.

#### **Objetivos específicos**

- a. Determinar los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo extraída por hidrólisis ácida.
- b. Determinar los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara de la granadilla extraída por hidrólisis ácida.
- c. Determinar los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara del tumbo serrano extraída por hidrólisis ácida.

### **1.4 Justificación**

Las razones que justifican el presente trabajo de investigación son:

- a) La utilización de la cáscara de maracuyá amarillo, granadilla y el tumbo, como materia prima para la obtención de la pectina, permitirá otorgarle valor agregado a un sub producto de la fruta fresca que se desecha, permitirá disminuir la contaminación ambiental y beneficiar a los procesadores o agricultores de estos frutos con mayores ingresos económicos.

- b) Como se realizaron estudios del contenido de pectina de la cáscara del maracuyá amarillo, es posible obtenerlo de otros frutos pertenecientes a la misma familia tales como la granadilla y el tumbo serrano.
- c) Los resultados y producto de la investigación será una contribución al desarrollo de la ciencia y de la industria de los alimentos.
- d) Permitirá diversificar la materia base para la obtención de la pectina, que actualmente utiliza a los cítricos y a la manzana.
- e) Permitirá generar una industria de pectina utilizando materias nativos en sustitución de la pectina que actualmente es importada.

### **1.5 Importancia**

En el procesamiento de frutas y verduras frescas, se generan subproductos y residuos, estos aun contienen distintos macro y microcompuestos con potencial de valor agregado y que pueden ser aprovechados en la obtención de diversos compuestos, tal es el caso de las pectinas, lo cual traería beneficios económicos a la industria alimentaria, farmacéutica y en general.

Las principales fuentes de pectina se obtienen de las cortezas de cítricos o de pulpa de manzana debido a su alto rendimiento y calidad. Pero existen otras industrias generadoras de residuos agroindustriales las cuales podrían ser una fuente potencial de pectinas u otros elementos.

La cáscara del maracuyá amarillo es una fuente con alto contenido de pectinas y su producción a nivel nacional es alta, siendo la granadilla y del tumbo serrano especies que pertenecen a la misma familia passiflora es desconocido el contenido de pectina aunque su producción va en crecimiento. Aprovechando la oportunidad del alcance de estas frutas, existe la necesidad de estudiarlo y trabajarlo.

Por tanto, la importancia de este trabajo es destacar los diversos desechos generados en el procesamiento de las frutas passifloras como una posible fuente de extracción de pectinas cumpliendo con características similares o superiores a la pectina comercial, ya que en el Perú no se producen a nivel comercial y en países como USA, México, Alemania, la industria de la pectina ha tenido grandes avances.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación.

Tene Culquicondor, I. (1978) en la tesis titulada: "*Estudio de Factibilidad Técnica sobre la Extracción de la Pectina de Guayaba (Psidium Guajaba)*" hecha en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; utilizó el método de hidrólisis ácida a un pH de 2,1; temperatura de 98 °C y tiempo de 30 minutos, siendo la extracción por precipitación con alcohol etílico. El ennegrecimiento que inicialmente sufría la pectina logró controlarse con adición de meta bisulfito de sodio y reposo por unas horas. Concluyendo que la guayaba como fuente de segunda prioridad.

Rossel Cabrera, P. (1978) en la tesis titulada: "*Extracción de la pectina a partir de desechos industriales de limón (Citrus aurantifolia)*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; estudió el aprovechamiento integral del limón, usando relaciones de materia prima: agua acidulada desde 1:10 hasta 1:20; el producto resultante así como la materia prima fueron caracterizadas química-bromatológicamente. Se trabajó con hidrólisis ácida (pH 1,9; temperatura 60 °C y tiempo 60 minutos) con un secado de 25 °C a 100 micrones por 6 horas obteniendo pectina en polvo con rendimiento de 38,2 %.

García Gutiérrez, E.M. (1978) en la tesis titulada: "*Extracción de pectina a partir de desechos industriales del membrillo (Cydonia oblonga)*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; trabajó para la hidrólisis ácida con una relación materia prima/agua acidulada de 1:16, con condiciones óptimas de pH 1,7; temperatura 85°C y tiempo de 70 minutos, logrando extraer más del 80 % del contenido total de pectina, caracterizando finalmente la pectina en polvo.

Véliz Sedano, N.M. (1984) en la tesis titulada: "*Extracción de pectina del níspero y su caracterización (Eriobotrya japonica)*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; extrajo y caracterizó la pectina

del níspero en 2 etapas de maduración, el Maduro y el Pintón (semimaduro), pero previo se deshidrató el níspero hasta una humedad de 6%. La operación fue por hidrólisis ácida y se obtuvo una pectina en polvo con humedad de 2.5 %, esta pectina fue caracterizada química y físicamente donde el rendimiento del Pintón (16%) fue mayor que el Maduro (11,5%).

Isique Calderón, J.C. (1986) en la tesis para el grado Magíster titulada: "*Extracción de pectina a partir de desechos industriales de maracuyá (Passiflora edulis var. flavicarpa degener)*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; aprovechó los desechos industriales de la maracuyá, la extracción se estudió a diferentes temperaturas, pH, y tiempos en 12 tratamientos en un arreglo factorial, donde los mejores resultados fuer el N° 10 (T, 95°C; pH, 2 y tiempo, 120 minutos), dando pectina en polvo de grado °165.

David Suarez, C. y Rodriguez Churiarse, M. (1989) en la tesis titulada: "*Desarrollo del proceso de obtención de pectina líquida a partir de la cáscara de maracuyá*" hecha en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; dieron bases técnicas económicas para la producción de la pectina líquida de grado 5. Se analizaron dos métodos de obtención y además se trató los aspectos del estudio de mercado, localización y tamaño de planta. Obteniendo el producto mediante hidrólisis ácida con ácido sulfuroso. La relación cáscara y agua fue de 1:4.

Acuña García, G.E. (1990) en la tesis titulada: "*Extracción y caracterización de pectina a partir de cortezas de toronja (Citrus paradisi)*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; estudió variables independientes, probándose: pH: 2, 2,5 y 3, temperaturas 60, 70, 80 y 90°C y tiempos de 45, 60, 75 y 90 minutos. Los resultados se evaluaron cuantitativamente en base al máximo rendimiento extractivo. Se obtuvo pectina en polvo con características de alto metóxilo y rápida gelificación.

El rendimiento fue de 18,82% en base seca y el secado se realizó en aire caliente y al vacío, afirmando que el aire caliente es más conveniente dando pectinas de buena calidad.

Huerta Rosales, L.G. (1990) en la tesis titulada: "*Extracción de pectina a partir de cáscara de membrillo (Cydonia oblonga), por el método de precipitación con sales*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; obtuvo las pectinas por medio de la hidrólisis ácida pero en la precipitación, a 100 mL de extracto de pectina, utilizó 5 mL de cloruro de aluminio a un pH de 4,2 y el tiempo de contacto fue de 120 minutos para así obtener pectinas de buenas características de calidad y comercializarlas. El método empleado es de fácil acceso comparando al método de extracción por precipitación alcohólica, que requiere de grandes consumo de alcohol (costo alto de operación), y fue clasificada de buena calidad y pureza.

Ching Laos, F.E. (1991) en la tesis titulada: "*Extracción simple, fraccionada y caracterización de la pectina de zapote (Matisia cordata)*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; aisló la pectina mediante dos tipos de extracción: la extracción simple y la extracción fraccionada. Como materia prima usó pulpa deshidratada de zapote. Las extracciones se realizaron en medio ácido, la pectina extraída se deshidrató en un túnel de aire a 45°C y a velocidades de aire de 2m/s (humedad final 7%). Concluyó que la extracción fraccionada rindió mayor extracción (86,6%) con respecto a la simple (81,2%).

Uquiche Carrasco, E.L. (1991) en la tesis titulada: "*Obtención ácido-alcalina de pectina a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis var. Flavicarpa degener) utilizando sales de aluminio para su precipitación*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; obtuvo la pectina mediante la hidrólisis ácida pero la precipitación fue alcalina, empleando sales de aluminio, donde sus parámetros óptimos fueron 240 mL de

solución alumbre al 5 % por el total del extracto obtenido de 100 g de cáscara a pH 4,0; temperatura de 25 °C y tiempo de 30 minutos; tipificándose a la pectina como HM (alto metóxilo) y "rapid set" (gelificación rápida).

Vásquez Clavo, G.N. (1993) en la tesis titulada: "*Extracción y caracterización de la pectina del bagazo de manzana Delicia y San Antonio (Pyrus malus)*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; probó 2 temperaturas (85 y 90 °C), pH (1,5; 1,7; y 2,5) y tiempos de extracción (45 y 55 minutos) para la hidrólisis ácida evaluándose mediante rendimientos. Dando pectinas en polvo de grado 140° y 130° para manzana San Antonio y Delicia respectivamente. Las pectinas en polvo fueron caracterizadas tipificándose como HM (alto metóxilo) para ambos.

Quevedo León, R.A. (1993) en la tesis titulada: "*Extracción de pectina a partir de desecho industrial de limón (Citrus aurantifolia) por electrodecantación*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; empleó el proceso de precipitación electrolítica, donde sus parámetro óptimos fueron, pH 3,8; potencial eléctrico 2,5 voltios/cm y tiempo 40 minutos. Luego se procedió a la obtención de pectina en polvo cuyo rendimiento de cáscara fue 4,67% en base húmeda y 21,13% en base seca, lográndose extraer 81,27% de la pectina presente en la cáscara.

Puerta Gómez, A.F. (1996) en la tesis titulada: "*Extracción de pectina LM de la cáscara de limón por el método electrolítico*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; utilizó el método de precipitación por sales y disminuyendo así el tiempo de precipitación con una electrólisis simple. Realizó 2 procesos de extracción y desmetilación donde los parámetros óptimos de precipitación fueron pH igual a 4, potencial igual a 3,6 voltios/cm y 10 minutos de electrólisis. Obtuvo una pectina en polvo de bajo metóxil y rendimiento de 12,2 % en base seca.

Vargas Mas, R. y Benites Alfaro, E. (2002) en la tesis titulada: "*Extracción de la pectina a partir de la cáscara de camu-camu (Myrciaria Dubia H.B.K. Mc. Vaugh)*" hecha en la Universidad Nacional de Ingeniería; trabajó con el proceso de la hidrólisis ácida a un pH de 1,8, relación de carga : agua de 1 : 1,5, temperatura de 65 °C y tiempo de 45 minutos, seguido de precipitación con alcohol 96° (solvente orgánico), obteniendo un producto de buena calidad dando costos de producción relativamente bajos, recuperando un alto porcentaje del precipitante así como la cáscara agotada para la industria de alimentos concentrado para animales.

Luján Burquero, J. (2008) en la tesis titulada: "*Estudio de Pre-factibilidad para la instalación de una planta de extracción de pectina a partir de la cáscara de naranja*" hecha en la Universidad Nacional de Ingeniería; mostró información estructurada, sistematizada y documentada del estudio de mercado de la pectina en nuestro medio así como a nivel latinoamericano. Resultando como producción nacional de 252 TM/Añual, ubicación de la planta en Junín, con un área de 1000 m<sup>2</sup> y con una inversión total de \$5 462 701. Trabajó con hidrólisis ácida (pH 2,3; temperatura 60°C), el alcohol utilizado se recicló por el método de destilación continua y el secado es por atomización dando pectina en polvo. Concluyendo que el proyecto es rentable.

Mallaupoma Reyes, H. (2010) en la tesis titulada: "*Elaboración de mermelada a partir de tumbo serrano (Passiflora tripartita var. mollísima (Kunth) Hol - Niels & P. Jorg.)*" hecha en la Universidad Nacional Agraria La Molina; observó que el tumbo serrano es un fruto que presenta óptimas condiciones para su industrialización bajo la forma de mermelada, tiene un rendimiento del 70% de pulpa y contenido de pectina en la cáscara de 2,346 g y en el zumo de 0,069 g, expresado como pectato de calcio/100g de muestra.

## 2.2. Maracuyá amarillo (*Passiflora edulis*, Var *Flavicarpa degener*)

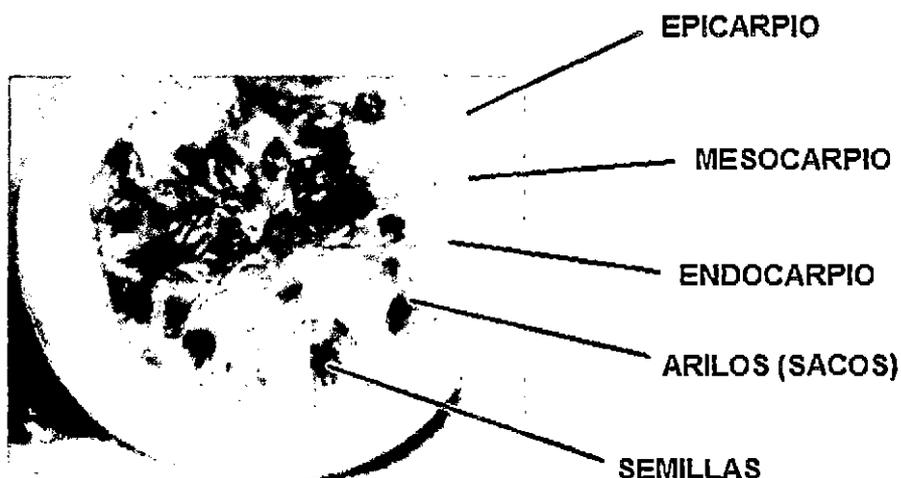
### 2.2.1. Aspectos generales

Según Boletín N° 9 "Programa de Frutales Nativos" (1970: 2), cita:

El maracuyá amarillo (*Passiflora edulis*, Var *Flavicarpa degener*) pertenece a la misma familia que la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), tumbo costeño (*Passiflora cuadrangularis* L.) y tumbo serrano (*Passiflora mollisima* H.B.K. Bailey), a los que se parece en su hábito de vegetación y flor, pero a diferencia de éstos, el fruto de maracuyá no es comestible directamente, pues su mayor interés es para la preparación de jugos y cocteles.

El maracuyá amarillo tiene su origen en Australia y de allí a Hawai. En Brasil se cultiva extensamente, de donde se introdujo al Perú en 1957. Es tolerante a los suelos salinos de la costa, resiste a los ataques de nemátodes, a la sequía o humedad alta del suelo, y es atacado por pocas plagas y enfermedades. Su rendimiento en suelos salinos es de 8 a 12 TM/Ha.

**FIGURA 2.1**  
**ESTRUCTURA HISTOLÓGICA DE LA CÁSCARA DEL MARACUYÁ**  
**AMARILLO**



Fuente: Morales, 1972; citado por Isique, 1986: 4

Según Florez (2007: 1) afirma que:

De las 485 especies de passifloras reconocidas hasta el momento, el maracuyá amarillo, es el único que se procesa a nivel industrial, especialmente por su exótico y placentero sabor y aroma, además que tiene bastante proyección de penetración comercial en los mercados internacionales.

Según Boletín N° 9 “Programa de Frutales Nativos” (1970: 5), afirma que:

Bajo el nombre de maracuyá se conocen dos variedades, una de fruto de cáscara amarilla, que es *Passiflora edulis*, *Var Flavicarpa degener*, y la otra, cuyo fruto es de color verde púrpura, que es la *Passiflora edulis Sims*; ambos oriundos de Brasil.

Se señala que a temperatura de 5 – 6 °C con humedad relativa de 85 – 90 % la fruta puede ser almacenada por 4 a 5 semanas, temperaturas inferiores producen degradación del color, marchitamiento y ataque de mohos (Pruthi, 1959; citado por Isique, 1986: 3)

### **2.2.2. Clasificación botánica**

En los países de habla inglesa se conoce al maracuyá amarillo con el nombre de Yellow Passion Fruit y para Brasil como parchita, peroba y maracujá.

**CUADRO 2.1**  
**CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DE LA MARACUYÁ**

<b>División</b>	Espermatofitas
<b>Sub división</b>	Angiospermas
<b>Clase</b>	Dicotiledóneas
<b>Sub clase</b>	Arquiclamídeas
<b>Orden</b>	Parietales
<b>Sub orden</b>	Flacoutinae
<b>Familia</b>	Passifloráceas
<b>Género</b>	Passiflora
<b>Serie</b>	Incarnatae

**Fuente: Boletín N°9 “Programa de Frutales Nativos”(1970: 5)**

### **2.2.3. Características de las partes principales**

Según Boletín N° 9 “Programa de Frutales Nativos” (1970: 26), cita:

La planta es una vigorosa enredadera, perenne y de rápido desarrollo. El tallo es de sección cilíndrica, con numerosos zarcillos y coloración verde o morada. Llega a medir hasta 16 metros de largo. (Durán, 2007: 156).

#### **a) Hojas:**

Son alternas, estipuladas, con peciolo provistos de dos pequeños nectarios cerca de la inserción del limbo. El limbo es aserrado, trilobulado, ocasionalmente entero de forma aovada, de color verde oscuro en el haz y verde claro en el revés, su longitud oscila entre 16 y 18 cm. Las nervaduras son pronunciadas en ambos lados del limbo.

### **b) Flores:**

Son hermafroditas, solitarias, axilares, con verticilios libres compuestos de cinco piezas cada uno (pentámero). El pedúnculo tiene dos grandes brácteas dentadas y permanentes. Los sépalos son verdes, oblongos, de 3 a 3,5 cm de largo y 1 cm de ancho. Los pétalos son blancos, oblongos de 2 a 2,5 cm de largo y 5 a 7 mm de ancho. Del centro de la flor emerge una columna y androginóforo en donde se encuentran los estambres y el pistilo. Los estambres tienen filamentos cortos, anteras bien desarrolladas y están ubicadas en un plano inferior a los óvulos insertos en tres placentas parietales; el estilo es muy corto y termina en tres estigmas largos que pueden ser erectos o curvados.

### **c) Fruto**

Es una baya esférica, ovoide o elipoidal, de exocarpio duro y mesocarpio seco, que al llegar a la madurez completa se arruga, alcanza hasta 10 cm de largo y 6 cm de diámetro, cuando madura toma una coloración amarillo canario o ligeramente anaranjada y se desprende conjuntamente con el pedúnculo.

### **d) Semillas**

Están rodeadas de un arilo amarillento de sabor ácido y aromático muy agradable; son planas, ovoides, de color marrón y su número varía entre 100 y 200 semillas por fruto.

## **2.2.4. Composición fisicoquímica**

El maracuyá amarillo tiene frutos de forma circular u ovoide con longitudes de 4 o 9 cm y de 3,5 a 8,5 cm de diámetro, color amarillo pálido a intenso, su peso aproximado de 100 g en promedio, de pericarpio (exocarpio) resistente, de superficie lustrosa, cubierta con una fina capa de cera.

La corteza constituye del 45 al 50 % del peso del fruto, se puede usar hasta un 4% en la alimentación de porcinos y 20% en la alimentación de vacunos (Boletín N° 9 “Programa de Frutales Nativos”, 1970: 32).

Su composición según Pruthi (1959; citado por Isique, 1986: 3) es:

**CUADRO 2.2**  
**COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LA MARACUYÁ**

Cáscara 57 – 60 %	Materia seca: 26 – 27 %
	Humedad 73 -74 %
Jugo 30 -33 %	Jugo final 27 – 30 %
	Pulpa 3 %
Semillas 10 %	Residuos 8%
	Aceite 2%

**Fuente: Pruthi (1959); citado por Isique (1986: 3)**

### **2.2.5. Composición química**

Según el Centro Nacional de Alimentación y Nutrición del Ministerio de agricultura:

**CUADRO 2.3**  
**COMPOSICIÓN POR CADA 100 g DE FRUTA DE MARACUYÁ**

Composición	Unidades	Maracuyá
Energía	Kcal	67
Agua	g	82,7
Proteínas	g	0,9
Grasa total	g	0,1
Carbohidratos totales	g	16,1
Fibra cruda	g	0,2
Cenizas	g	0,6
Calcio	mg	13
Fósforo	mg	30
Zinc	mg	0,06
Hierro	mg	3
Retinol	µg	410
Vitamina A	mg	121
Tiamina	mg	0,03
Riboflavina	mg	0,15
Niacina	mg	2,24
Vitamina C	mg	22

**Fuente: Ministerio de la Agricultura.**

### **2.2.6. Usos**

- En la fabricación de jaleas, mermeladas, compotas y caramelos gelificados de buena calidad, esto es por su contenido de pectina el cual es un agente gelificante y cuya finalidad es dar una textura gelatinosa a algunos productos. (Joseph, 1953; citado por Isique, 1986: 34).
- Tiene importante aplicación farmacéutica, para tratar diarreas, heridas ulcerosas, sustituto de plasma sanguíneo, como desintoxicante de

envenenamiento con metales pesados, y para la formación de complejos con insulina, penicilina, etc. (Nelson, 1977; citado por Uquiche, 1991: 55).

- La fruta de maracuyá presenta características muy propicias para su industrialización en forma de jugos concentrados y cocteles. Su sabor agradable permite consumirlo diluido en forma natural, combinando con licores como el Vodka, Pisco, etc. (Boletín N° 9 “Programa de Frutales Nativos”, 1970: 29).
- La cáscara también constituye un potencial para la extracción de aceites esenciales para uso en perfumería (Boletín N° 9 “Programa de Frutales Nativos”, 1970: 32).
- El contenido de pectina de la cáscara permite la incorporación de altos niveles de melaza en los alimentos para el ganado (Boletín N° 9 “Programa de Frutales Nativos”, 1970: 35).
- Tiene propiedades laxantes por su alto contenido de fibra, disminuye el estreñimiento contribuye a reducir las tasas de colesterol en la sangre y al buen control de la glucemia. Produce un efecto saciante, lo cual beneficia a las personas, que llevan a cabo una dieta para perder peso (Durán, 2007: 157).
- Rica en sustancias de acción antioxidante; contribuye a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, degenerativas e incluso el cáncer, mejora la anemia feiropénica, pues la vitamina C aumenta la absorción de hierro (Durán, 2007: 113).
- La semilla contiene un 20 – 25 % de aceite, que según el Instituto de Tecnología y Alimentos de Brasil se puede usar en la fabricación de aceites, tintas y barnices. Este aceite puede ser refinado para otros fines como el alimenticio, ya que su calidad se asemeja al de la semilla de algodón en cuanto a valor alimenticio y a la digestibilidad; además contiene un 10% de proteína. Otro subproducto que se extrae es la maracuyina, un tranquilizante muy apreciado en Brasil (García 2002: 8).

### 2.2.7. Producción nacional

Se observa que la mayor producción es en el departamento de Lambayeque incluyendo una amplia superficie pero no tan buen rendimiento como el de Piura. El precio más cómodo el departamento de Huánuco.

**CUADRO 2.4**  
**PRODUCCIÓN, SUPERFICIE COSECHADA, RENDIMIENTO Y PRECIO**  
**EN CHACRA DEL MARACUYÁ AMARILLO, SEGÚN REGIÓN. 2010**

Región / Subregión	Producción (T)	Superficie (Ha)	Rendimiento (Kg/Ha)	Precio en chacra (S/./Kg)
<b>Nacional</b>	<b>47068</b>	<b>4033</b>	<b>11804</b>	<b>0,79</b>
Tumbes	238	15	16 410	0,73
Piura	3 120	189	16 508	0,78
Lambayeque	17164	1 474	11 645	0,63
La Libertad	1066	148	7 195	1,03
Cajamarca	106	18	5 861	0,83
Ancash	9 015	801	11 255	0,95
Lima	13 455	901	14 933	0,93
Huánuco	11.	78	5 719	0,55
Junín	2 311	257	8 992	0,66
Moquegua	17	4	4 203	1,67
Ayacucho	48	8	6 000	1,36
San Martín	122	14	8 686	0,36
Loreto	253	64	3 953	0,37
Ucayali	251	63	3 980	0,29

**Fuente: Ministerio de Agricultura - Dirección de Información Agraria (2010)**

## 2.3. Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss)

### 2.3.1. Aspectos generales

La granadilla es una especie originaria de América tropical y se supone que su centro de diversificación primaria son los andes sudamericanos – Bolivia y Perú – aunque se le encuentra también en México (León Jorge 1968; citado por Espinoza, 1972: 1). La granadilla crece en altitudes que van desde los 1500 y 2500 m.s.n.m (Durán, 2007: 112).

Según Boletín N°9 “Programa Frutales Nativos” (1970: 7) afirma:

Es la especie del género *passiflora* que más se comercializa hasta ahora en el Perú, aunque su rendimiento no es muy elevado debido a que no se ha sometido a mejoramiento genético. Se consume al estado fresco, y por ser su cáscara apegaminada es muy resistente al transporte y a la pudrición.

FIGURA 2.2

### ESTRUCTURA HISTOLÓGICA DE LA CÁSCARA DE LA GRANADILLA



Fuente: Morales, 1972; citado por Isique, 1986: 4

El desarrollo vegetativo es más lenta que el del tumbo costeño (*Passiflora quadrangularis* L.) y del maracuyá (*Passiflora edulis*). Actualmente esta fruta se consume directamente, porque es suave y dulce, también se podría preparar bebidas y cocteles.

La granadilla es cultivada en poca escala por pequeños agricultores del departamento de Lima, especialmente en la sierra a partir de Chosica hasta Matucana. También se cultiva en: Acobamba, Palca y Tarma (Junín), además, en Ancash Huánuco, Ayacucho, Urubamba (Cuzco) y Cajamarca. En los mercados de Lima, se encuentra en los meses de Mayo y Junio. La planta de granadilla es muy susceptible al ataque de nemátodes en la Costa Central, Valle del Rímac, La Molina.

Según Durán (2007: 112) afirma:

Las granadillas son los miembros más grandes de la familia de las pasifloras o frutos de la pasión y pueden llegar a presentar buen peso. Cuando todavía no están maduras, estos grandes frutos se usan como verduras, pero raramente se exportan.

Se pueden encontrar habitualmente en el mercado son lisas, redondas, con la piel parecida a la naranja y una pulpa grisácea que contiene unas semillas duras

### **2.3.2. Clasificación Botánica.**

La clasificación, extraída del Boletín N° 9 "Programa de Frutales Nativos" (1973:5) es:

**CUADRO 2.5**  
**CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DE LA GRANADILLA**

<b>División</b>	Espermatofita
<b>Sub división</b>	Angiospermas
<b>Clase</b>	Dicotiledóneas
<b>Sub clase</b>	Arquiclamídeas
<b>Orden</b>	Parietales
<b>Sub orden</b>	Flacourtiinae
<b>Familia</b>	Passifloráceas
<b>Género</b>	Passiflora
<b>Sub género</b>	Granadilla

**Fuente: Boletín N°9 “Programa de Frutales Nativos” (1973: 5)**

**2.3.3. Características de las partes principales**

Es una especie perenne, trepadora, de tallo cilíndrico y hojas acorazonadas que varían de 8 – 10 cm o más de longitud, alternadas, con flores de apariencia y estructura características (Espinoza 1972: 2).

Boletín técnico N° 1 “Cultivo de la Granadilla” (1996: 2) afirma:

La planta presenta raíces fasciculadas poco profundas, perennes y fibrosas. La raíz primaria es de escaso crecimiento de donde se derivan un gran número de raíces secundarias.

Esta planta en sus primeros meses de propagación por semilla presenta crecimientos de color morado, luego estos brotes se tornan verdes y aún de consistencia herbácea. Trepa a los arbustos, árboles, tutores o soportes artificiales por medio de sus zarcillos que emergen de las axilas de las hojas. Las plantas de más edad hasta los 8 a 9 años (que es el límite de su edad productiva), se leñifica y presenta una superficie estriada.

### **a) Hojas**

Aparecen de tamaños variables, según las localidades, con dimensiones de 8 a 20 cm de largo y de 6 a 15 cm de ancho. De forma acorazonada, borde liso e inserción alterna. Las nervaduras aparecen sobresalientes en la cara inferior de la hoja (Boletín técnico N° 1 "Cultivo de la Granadilla", 1996: 3).

### **b) Flores**

Son de color violeta de 7 a 10 cm de diámetro, usualmente dos en cada nudo se forman entre los 7 a 10 meses. Cuando el cultivo de granadilla se lleva asociado a otras plantas, las flores emergen de 10 y 13 meses (Espinoza 1972: 2).

### **c) Fruto**

Es una baya de forma ovoide o elipsoidal, con un diámetro entre 7 a 8 cm, unida a un pedúnculo cuya longitud va de 6 a 12 cm. Su forma es casi esférica con un diámetro entre 7 a 8 cm. La superficie del fruto próximo a su madurez, cambia del color verde a verde amarillento y luego amarillo intenso a cierta tonalidad de rosado con moteado blanquecino (Boletín Técnico N° 1 "Cultivo de la Granadilla", 1996: 3).

Presenta cáscara dura o seca, con semillas, que salen de tres placentas parietales, rodeadas de arilos carnosos, aromáticas. El epicarpio posee varias capas de células cortas de paredes gruesas y mide 1mm de espesor, el mesocarpio blanco esponjoso, alrededor de 5mm, estas características favorecen su almacenamiento y su transporte (Espinoza 1972: 2).

#### **d) Semillas**

Son planas – elípticas, generalmente de color negro, poseen un arilo transparente (que es la parte comestible) el cual se compone de un parénquima que contiene azúcar y principios ácidos que determinan un sabor agradable (Espinoza 1972: 2).

El fruto posee de 200 a 250 semillas cada uno envuelta en un saco o arilo translúcido, de consistencia mucilaginoso y sabor dulce acidulado, que es la parte comestible. Las semillas son de color negro a la madurez del fruto, planas y de forma de escudo (Boletín Técnico N° 1 “Cultivo de la Granadilla”, 1996: 3).

#### **2.3.4. Cultivo**

Boletín técnico N° 1 “Cultivo de la Granadilla” (1996: 2) afirma:

El cultivo de la granadilla en el Perú se encuentra mayormente en las áreas de clima templado, ámbito que corresponde a la sierra donde se dedica unas 954 Ha, aproximadamente, con un producción total de 5566 TM y un rendimiento promedio 5834 Kg/Ha en 1994.

Además de las áreas de sierra, la granadilla encuentra condiciones apropiadas para una producción comercial, en muchas áreas de selva alta, por encima de los 100 m.s.n.m. En los últimos años, con el uso de plantas injertadas de granadilla sobre maracuyá, las plantaciones a escala comercial, se han ampliado hacia áreas de la costa central y costa sur.

La demanda por granadilla de los mercados de Europa, como son los casos de Francia y Alemania va en aumento por el sabor dulce y exquisito de la fruta.

Según Boletín técnico N° 1 “Cultivo de la Granadilla” (1996: 3):

En los departamentos de Piura, Lambayeque, Cajamarca, Amazonas, La Libertad, Pasco, Junín, Huánuco y otros, existen cultivares, que se diferencian en el vigor y longevidad de la planta, tamaño y peso de los frutos.

Según Espinoza (1972: 3) afirma que:

Su producción está basada en las cosechas de las plantas que, casi en estado silvestre, crecen en distintas zonas de la sierra entre los 1000 y 3000 m.s.n.m.

La mayor parte de la granadilla consumida en Lima, proviene del departamento La Libertad, siendo mayor la afluencia de fruta en los meses de abril a julio, bajando ésta en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Según Boletín técnico N° 1 "Cultivo de la Granadilla" (1996: 4), cita ciertas condiciones:

- a) **Clima:** El clima favorable para producir granadilla es aquel de frío moderado a altitudes entre 1200 y 2400 m.s.n.m. a temperaturas de 16 a 20 °C.
- b) **Suelo:** Los suelos para el cultivo deben ser preferentemente profundos y con buen drenaje. La textura apropiada, es franco arcilloso o franco arenoso. El cultivo se establece tanto en suelos planos o inclinados que tenga buena aireación y drenen con rapidez
- c) **pH:** Resulta ventajoso suelos fértiles y de buen contenido de materia orgánica. Con un pH entre 6 a 6,5.

### 2.3.5. Composición química

Según el Centro Nacional de Alimentación y Nutrición del Ministerio de Agricultura:

**CUADRO 2.6**  
**COMPOSICIÓN POR CADA 100 g DE FRUTA DE GRANADILLA**

Composición	Unidades	Granadilla
Energía	Kcal	80
Agua	g	78,9
Proteínas	g	2,2
Grasa total	g	2
Carbohidratos totales	g	15,6
Fibra cruda	g	3,5
Cenizas	g	1,3
Calcio	mg	17
Fósforo	mg	128
Zinc	mg	--
Hierro	mg	0,4
Retinol	µg	0
Vitamina A	mg	28
Tiamina	mg	0,11
Riboflavina	mg	0,13
Niacina	mg	2,14
Vitamina C	mg	15,80

**Fuente: Ministerio de la Agricultura**

### **2.3.6. Usos**

Según Durán (2007: 113) afirma:

- El jugo es delicioso, refrescante y muy suave para el estómago de los bebés, contribuye al crecimiento sano de los niños y fortalece su sistema digestivo.
- Para combatir el estreñimiento, tomar jugo de granadilla en la mañana es de gran ayuda. La pulpa entera, con las semillas (bien masticadas) es beneficioso en los casos de úlcera y gastralgias en personas adultas.
- La decocción de las hojas se emplea para problemas estomacales y contra la espermatorrea. Si se combina con las hojas de verbena se utiliza para combatir la malaria. La infusión de sus hojas se constituye en un eficaz febrífugo.
- Las hojas con manteca alivian la tensión y los dolores de los espamos musculares de la espalda. Las hojas hervidas se emplean para curar heridas y en baños de asiento contra enfermedades urinarias.

### **2.3.7. Producción nacional**

Se observa que la mayor producción es en el departamento de Pasco incluyendo una amplia superficie pero no tan buen rendimiento como el de La Libertad. El precio más cómodo el departamento de Ucayali.

**CUADRO 2.7**  
**PRODUCCIÓN, SUPERFICIE COSECHADA, RENDIMIENTO Y PRECIO**  
**EN CHACRA DE LA GRANADILLA, SEGÚN REGIÓN. 2010**

<b>Región / Subregión</b>	<b>Producción (T)</b>	<b>Superficie (Ha)</b>	<b>Rendimiento (Kg/Ha)</b>	<b>Precio en chacra (S/./Kg)</b>
<b>Nacional</b>	<b>23 805</b>	<b>3 827</b>	<b>6 220</b>	<b>1,76</b>
Piura	181	340	532	1,15
Lambayeque	177	56	3 161	2,38
La Libertad	2 887	260	11 125	2,15
Cajamarca	3 698	594	6 231	1,35
Amazonas	849	139	6 133	0,96
Ancash	37	10	3 650	2,45
Lima	97	19	5 105	0,94
Huánuco	3 132	554	5 653	1,76
Pasco	8 751	1 298	6 742	1,88
Junín	230	32	7 199	1,49
Huancavelica	35	5	7 080	0,97
Moquegua	3	1	3 100	2,00
Ayacucho	51	8	6 375	2,30
Apurímac	100	18	5 499	0,77
Cusco	2 636	348	7 572	2,20
Puno	517	51	10 137	1,34
Loreto	12	4	3 000	0,36
Ucayali	412	91	4 520	0,21

**Fuente: Ministerio de Agricultura - Dirección de Información Agraria (2010)**

## 2.4. Tumbo serrano (*Passiflora Mollísima H.B.K. Bailey*)

### 2.4.1. Aspectos generales

Según Calzada (1981); citado por Mallaupoma (2010: 2) afirma:

El tumbo serrano (*Passiflora mollísima H.B.K. Bailey*) es un fruto estacional de la sierra peruana que crece entre los 2000 a 3500 m.s.n.m. y que no ha sido industrializado en el país. Se consume en forma directa y ocasionalmente como mermelada casera, como fruto tiene escaso valor económico en los mercados pese a su alto contenido de vitamina C.

Según Herrera (1941); citado por Mallaupoma (2010: 9), el tumbo serrano crece desde Venezuela y Colombia, pasando por Bolivia y Perú.

Según Calzada y otros (1971); citado por Mallaupoma (2010: 9), el tumbo serrano existe en Ecuador, Colombia, México, EE.UU. y estuvo poco difundido en nuestro país.

**FIGURA 2.3**  
**ESTRUCTURA HISTOLÓGICA DE LA CÁSCARA DEL TUMBO SERRANO**



Fuente: Morales, 1972; citado por Isique, 1986: 4

Según Boletín N° 9, "Programa Frutales Nativos" (1970: 8) cita:

El tumbo se consume en refrescos, siendo muy agradable; también se corta en trozos y se mezcla con piña, durazno y papaya. Se prepara en mermelada, existiendo además en otras formas de consumo.

En Perú, según Macbride (1941) y Herrera (1941); citado por Mallaupoma (2010: 9), reportan la existencia de esta especie en:

**CUADRO 2.8**  
**ZONAS DEL PERÚ DONDE EL TUMBO SERRANO EXISTE**

<b>Huánuco:</b>	Huánuco y Pampayacu
<b>Junín:</b>	Tarma, Ocopa, Carpapata y Huancayo
<b>Ayacucho:</b>	Ayacucho y Carrapa
<b>Cuzco:</b>	Cuzco, Ollantaitambo, Quispicanchis, Valle Urubamba, Huasao
<b>Apurímac:</b>	Valle de Apurímac, Parccarccoto

**Fuente: Macbride (1941) y Herrera (1941); citado por Mallaupoma (2010: 9)**

#### **2.4.2. Clasificación botánica**

Desde el punto de vista botánico, (Barrón, 1972 y Uehara, 1985; citado por Mallaupoma, 2010: 3) es como sigue:

**CUADRO 2.9**  
**CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL TUMBO SERRANO**

<b>División</b>	Fanerogramas
<b>Sub división</b>	Angiospermas
<b>Clase</b>	Dicotiledóneas
<b>Sub clase</b>	Arquiclamídeas
<b>Orden</b>	Parietales
<b>Sub orden</b>	Flacaurtriae
<b>Familia</b>	Passifloraceas
<b>Género</b>	Passiflora
<b>Especie</b>	Passiflora Tripartida var. Mollisima (Kunth) Holm – Niels & P. Jorg

Fuente: Barrón (1972) y Uehara (1985); citado por Mallaupoma (2010: 3).

Este frutal es conocido en diferentes lugares y con distintos nombres (Calzada, 1981 y León, 1968; citado por Mallacpoma, 2010: 3) tales como:

**CUADRO 2.10**  
**NOMBRES DEL TUMBO SERRANO EN EL EXTRANJERO**

<b>Perú</b>	Tumbo serrano
<b>Colombia</b>	Curuba o "poro poro"
<b>Venezuela</b>	Plancha
<b>México</b>	Granadilla cimarrona
<b>Ecuador</b>	Taxo
<b>Brasil</b>	Maracujás
<b>Nombre Ingles</b>	Banana Passion Fruit; Soltleat Passion Flower
<b>Otros</b>	Tacso, tin tín, trompos, tumbo del monte, etc

Fuente: Calzada (1981) y León (1968); citado por Mallaupoma (2010: 3)

**Sinónimos botánicos:** P. Torrentosa Lam, Tacsonia mollísima H.B.K., P. Torrentosa var. Mollísima.

#### **2.4.3. Características de las partes principales:**

El tumbo es una planta trepadora, semiperenne, vigorosa y de tallo delgado algo redondeado (Folleto N° 9 - "Cultivo del Tumbo", 1995).

Según Barrón, 1972; citado por Mallaupoma (2010: 5) afirma:

##### **a) Hojas**

Las hojas son alternas, palmatihendidas, palminervias, con borde dentado, trilobuladas y estipuladas. Son anchamente acorazonadas en su contorno total, aproximadamente de 5 – 14 cm de longitud por 5 - 13 cm de ancho.

Las hojas son trilobuladas, el tubo de la corola de las flores es de 6 a 10 cm de largo y los pétalos son cortos y rosados provistos de zarcillos (Folleto N° 9 - "Cultivo del Tumbo", 1995).

##### **b) Flor**

La flor es hermafrodita, heteroclamídea, actinomorfa, presenta un tubo periántico largo a cuyo extremo se hallan 5 sépalos, 5 pétalos rosados libres, los estambres y el pistilo están sostenidos para un largo soporte andioenóforo.

##### **c) Fruto**

El epicarpio tiene color amarillo claro o verde amarillento, cubierta por una fina pubescencia. El mesocarpio está lleno de semillas envueltas en arilos comestibles de sabor dulce.

La textura que es "relativamente suave" pasa a suave conforme la fruta madura lo cual se debe a la disminución de la protopectina y el

aumento de la pectina soluble (Fennena, 1985; citado por Mallaupoma, 2010: 9).

Según Folleto N° 9, "Cultivo del Tumbo" (1995), cita:

Los frutos son oblongos, alargados y suaves, de 6 a 9 cm de largo y de 4 a 5 cm de diámetro, cáscara color amarillo claro cubierta por una fina pubescencia, el mesocarpio está repleto de semillas envueltas en arilos con jugo de color amarillo pronunciado.

#### **d) Semilla**

Las semillas son de color negro, ovalo – aplanada, aproximadamente de 7 x 4 x 2 mm, la superficie (excluyendo el arilo) es rugosa y provista de abundantes hoyuelos, el embrión se halla en unos de sus extremos.

**CUADRO 2.11**  
**CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTES DEL TUMBO**

<b>FRUTO (1)</b>		
<b>Características</b>	<b>Inmaduro</b>	<b>Maduro</b>
Color	Verde	Amarillo
Forma	Oblongo	Oblongo
Textura	Consistente	Suave
Apariencia de la cáscara	Cubierta por una fina pubescencia	Cubierta por una fina pubescencia
<b>SEMILLA (2)</b>		
Forma	Ovalo - aplanada	Ovalo - aplanada
Color	Negro claro	Negro claro
Textura	Semidura	Semidura
Apariencia de la superficie	Rugosa provista de hoyuelos	Rugosa provista de hoyuelos
<b>DIMENSIONES DEL FRUTO (3)</b>		
<b>Denominación</b>	<b>Largo cm</b>	<b>Ancho cm</b>
Longitud máxima	13	4.8
Longitud mínima	6.5	3
Longitud promedio	8.53 ± 1.72	3.75 ± 0.56

**Fuente: (1) Reynal y León (1990); (2) Uehara (1985) y (3) Paetrinteri (1983); citado por Mallaupoma, (2010: 9).**

#### **2.4.4. Cultivo.**

Reynal y León, 1990; citado por Mallaupoma (2010: 10):

El tumbo serrano prefiere los suelos sueltos, de textura franco – arenosa, ligeramente alcalinos, con niveles medios o altos de humedad, requieren de ambientes abrigados, no soportan heladas, encontrándose en zonas con temperaturas medias anuales de 8 - 23 °C.

Según Folleto N° 9, Cultivo del Tumbo (1995), condiciona:

- a) **Clima:** El tumbo se adapta al clima monzónico, con temporadas alternantes húmedas y secas. Este cultivo prospera desde los 1000 hasta los 3500 m.s.n.m., con mayor éxito en valles interandinos.
- b) **Temperatura:** Tolera temperatura bajo cero una vez cumplido su primer año, requiriendo protección del viento en latitudes o altitudes elevadas. La temperatura baja y los cambios de humedad en altitudes elevadas, permite el desarrollo de esta especie.
- c) **Lluvia:** Proporciona mayormente humedad que la planta necesita. En la época de ausencia de lluvias las plantas sufren por la falta de agua, originándose la caída y secado de las hojas. Es necesario riegos suplementarios.
- d) **Suelo:** Se adapta a diferentes tipos de suelo como en valles y quebradas de la sierra. La productividad y la calidad de la fruta depende de las características del suelo.
- e) **Propagación:** Por semilla y esquejes maduros (ramas) dependiendo de los fines del cultivo, ya sea comercial o casero.

#### 2.4.5. Composición química

El tumbo serrano, tiene 9,2 a 12 °Brix; 1,46 a 3,82 % acidez (expresado como ácido cítrico) y 10,22 a 12,98 % de sólidos totales, y se ubica dentro del promedio de todas las frutas en lo que a composición química se refiere (Mallaupoma, 2010: 9).

Según el Centro Nacional de Alimentación y Nutrición del Ministerio de Agricultura:

**CUADRO 2.12**  
**COMPOSICIÓN POR CADA 100 g DE FRUTA DE TUMBO**

Composición	Unidades	Tumbo serrano
Energía	Kcal	64
Agua	g	82,1
Proteínas	g	1,2
Grasa total	g	0,5
Carbohidratos totales	g	15,4
Fibra cruda	g	3,6
Cenizas	g	0,8
Calcio	mg	8
Fósforo	mg	34
Zinc	mg	--
Hierro	mg	0,6
Retinol	µg	159
Vitamina A	mg	--
Tiamina	mg	0,02
Riboflavina	mg	0,11
Niacina m	mg	4,56
Vitamina C	mg	66,70

**Fuente: Ministerio de la Agricultura**

#### **2.4.6. Usos**

- El fruto de esta planta por su sabor acidulable y agradable es utilizado al estado natural y en mermelada (Calzada, 1980; citado por; citado por Mallaupoma, 2010: 2).
- Las hojas en cimiento son empleados como vermífugo y en infusión para las infecciones urinarias, de uso material local (Reynel, 1990; citado por Mallaupoma, 2010: 6).

- La raíz (aproximadamente 15 g / L) es utilizada en tratamiento de enfermedades urinarias (Soukup, 1979; citado por Mallaupoma, 2010: 6).

#### 2.4.7. Producción nacional

Se observa que la mayor producción es en el departamento de San Martín incluyendo una amplia superficie pero no tan buen rendimiento como el de La Libertad pero sí siendo el precio más cómodo del mercado.

**CUADRO 2.13  
PRODUCCIÓN, SUPERFICIE COSECHADA, RENDIMIENTO Y PRECIO  
EN CHACRA DEL TUMBO SERRANO, SEGÚN REGIÓN. 2010**

<b>Región / Subregión</b>	<b>Producción (T)</b>	<b>Superficie (Ha)</b>	<b>Rendimiento (Kg/Ha)</b>	<b>Precio en chacra (S/./Kg)</b>
<b>Nacional</b>	<b>1 033</b>	<b>143</b>	<b>7 238</b>	<b>0,62</b>
Piura	4	7	617	1,19
La Libertad	320	22	14 757	0,72
Ancash	11	5	2 260	2,09
Junín	148	19	7 789	0,56
Huancavelica	48	12	4008	0,71
Moquegua	15	3	4 987	1,22
San Martín	486	75	6 480	0,51

**Fuente: Ministerio de Agricultura - Dirección de Información Agraria (2010)**

**CUADRO 2.14**  
**RESUMEN DE LA COMPOSICIÓN POR CADA 100 g DE LOS TRES**  
**FRUTOS**

<b>Composición</b>	<b>Unidades</b>	<b>Maracuyá amarillo</b>	<b>Granadilla</b>	<b>Tumbo serrano</b>
<b>Energía</b>	Kcal	67	80	64
<b>Agua</b>	g	82,7	78,9	82,1
<b>Proteínas</b>	g	0,9	2,2	1,2
<b>Grasa total</b>	g	0,1	2	0,5
<b>Carbohidratos totales</b>	g	16,1	15,6	15,4
<b>Fibra cruda</b>	g	0,2	3,5	3,6
<b>Cenizas</b>	g	0,6	1,3	0,8
<b>Calcio</b>	mg	13	17	8
<b>Fósforo</b>	mg	30	128	34
<b>Zinc</b>	mg	0,06	--	--
<b>Hierro</b>	mg	3	0,4	0,6
<b>Retinol</b>	µg	410	0	159
<b>Vitamina A</b>	mg	121	28	--
<b>Tiamina</b>	mg	0,03	0,11	0,02
<b>Riboflavina</b>	mg	0,15	0,13	0,11
<b>Niacina</b>	mg	2,24	2,14	4,56
<b>Vitamina C</b>	mg	22	15,80	66,70

**Fuente: Ministerio de la Agricultura**

## **2.5. Pectina**

### **2.5.1. Síntesis histórica**

Según Abzueta (2012: 6 - 7):

En 1790, la pectina fue descubierta por Vauquelin quien realizó las primeras investigaciones trabajando con tamarindo y de ahí aisló una sustancia gelatinosa.

La sustancia que se había supuesto, era la causa de que los jugos de frutas se convertían en jaleas cuando se calentaba a ebullición con azúcar, fue caracterizada por primera vez en 1825 por el químico francés Henri Braconnot, quien la designó como "pectina", que deriva del griego pektikos, que significa "congelar" o "solidificar" . También evidenció que además del azúcar era necesario un pH adecuado para la formación del gel.

La primera producción de extracto de pectina líquida fue realizada en 1908 en Alemania, a partir de los restos de la fabricación de zumo de manzana. El proceso se extendió rápidamente a los Estados Unidos, donde la patente fue obtenida por Douglas (US Pat. 1.082,682, 1913). Este mostró un rápido crecimiento de la Industria de la pectina en Estados Unidos, y después en Europa.

Fermi describió la protopectina, una sustancia insoluble presente en los tejidos de las plantas y de que deriva la pectina. Para 1916 Erlich y Suarez dieron a conocer el aislamiento del ácido D-galacturónico que en forma de polímero es el integrante de todas las pectinas.

Para 1927 la Sociedad Química Americana dio una definición que dice: "la pectina incluye las sustancias metiladas útiles para preparar jaleas". La protopectina es la sustancia madre de la cual deriva la pectina.

Los ácidos pécticos son los cuerpos formados por la dimetilación completa y por la carboxilación completa o parcial de la pectina.

Entre 1994 y 2001, se lograron importantes avances. Dependiendo del grado de esterificación (GE, expresado convencionalmente en porcentaje del contenido total de ácidos urónicos), las pectinas forman geles en un medio ácido y alta concentración de azúcar (pectinas de alto GE – mayor a 50%), o por interacción con cationes divalentes, particularmente  $\text{Ca}^{2+}$  (pectina de bajo GE – menor a 50%).

### **2.5.2. Generalidades**

Según Abzueta (2012: 7 - 8):

La pectina, también conocida con la palabra griega “Pekos” (denso, espeso, coagulado), son polisacáridos de origen vegetal, heterogéneos, higroscópicos y solubles en ácidos y agua, con propiedades de gelificación, estabilización de emulsiones y aporte de fibra nutricional.

Son polímeros lineales de gran peso molecular proveniente de las paredes o cáscaras de las frutas. Están formadas por unidades de ácido D-galacturónico parcialmente esterificado con metanol, unidos por enlaces glicosídicos  $\alpha$  (1→4) entre los cuales se intercalan restos de ramnosa con ramificaciones de azúcares neutros como galactosa, arabinosa y xilosa.

Eliseo (2005: 15) afirma:

La pectina es una mezcla de polisacáridos generado en la pared celular del tejido vegetal, compuesto de polímeros esencialmente lineal de unidades ácidas de  $\alpha$ -Dgalactopiranosilurónico unidas por enlace  $\alpha$ -D(1-4) glicosídicos, de estructura química heterogénea y peso molecular variable, esterificado parcialmente con metanol.

Braverman (1980); citado por Quito (2011: 2) afirma:

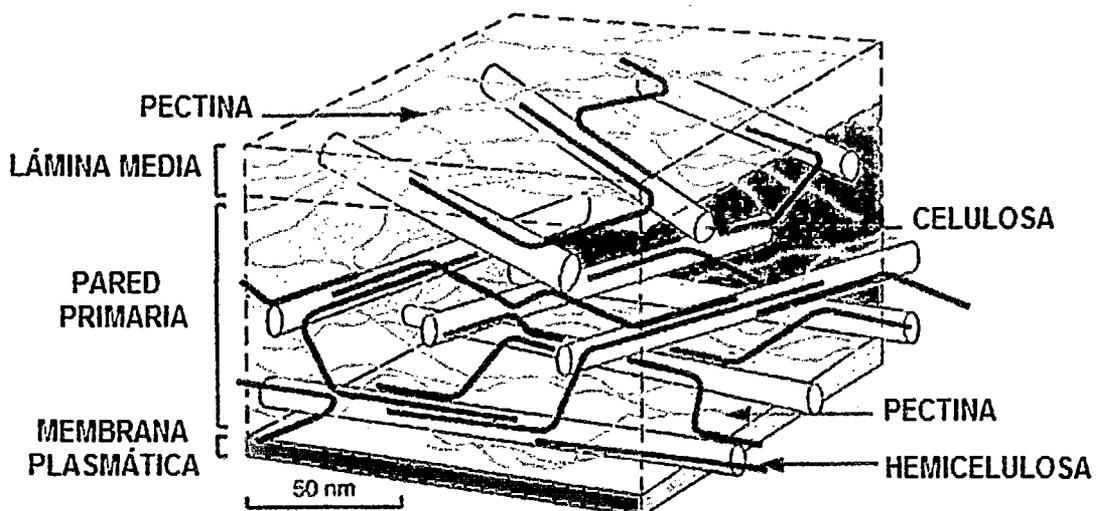
Las pectinas son los agentes gelificadores por excelencia obtenidos de las frutas y su principal constituyente es el ácido D-galacturónico. En la naturaleza existen como geles y son importantes constituyentes de las paredes celulares donde cumplen funciones de retención de forma y textura de frutas y hortalizas.

Herbstreith (2001); citado por Devia (2003: 22) afirma:

Las pectinas son heteropolisacáridos que se presentan en la naturaleza como elementos estructurales del sistema celular de las plantas. Su componente principal es el ácido poligalacturónico, que existe parcialmente esterificado con metanol. Se encuentran principalmente en las frutas y vegetales, para aprovechar su capacidad para balancear el equilibrio del agua dentro del sistema.

La pectina es una sustancia natural que se forma principalmente en la pared primaria y en los tejidos mesenquimáticos y parenquimáticos de frutos y vegetales, y tiene la función de cemento intercelular (Alawuba, 1994; citado por Chasquibol, 2008: 176)

**FIGURA 2.4**  
**ESTRUCTURA DE LA PARED CELULAR**



Fuente: Rivadeneira (2009: 6)

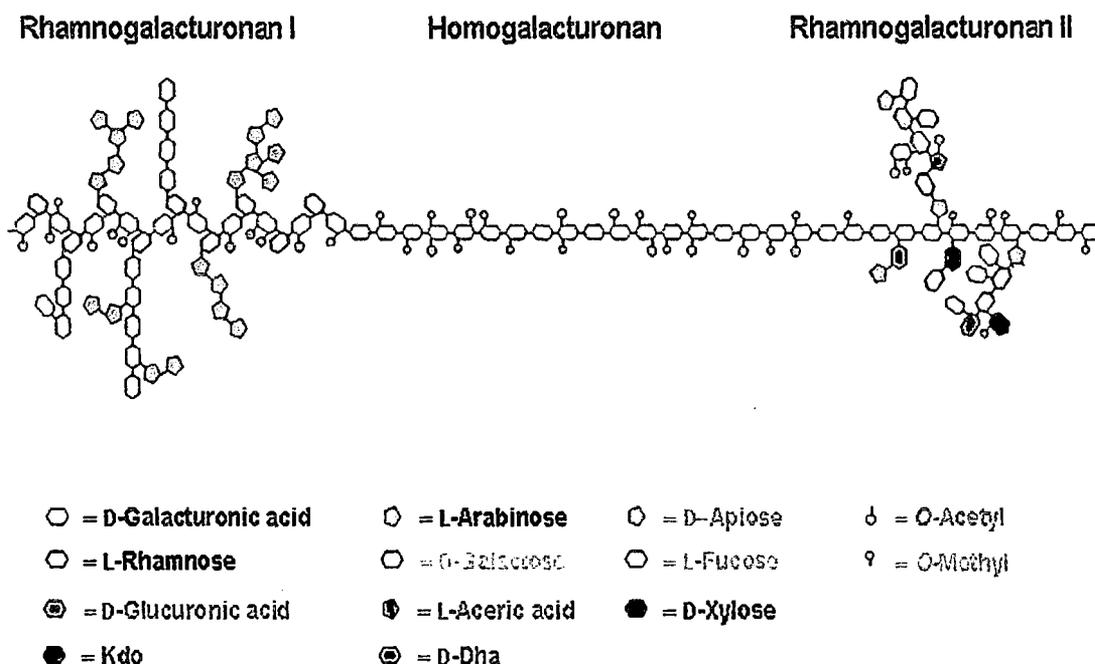
Sánchez (2011: 77) afirma:

Estructuralmente, las pectinas están constituidas por un esqueleto de residuos de ácido galacturónico (AGA) unidos entre sí por enlaces  $\alpha(1,4)$ . A la región de residuos de AGA se le denomina Homogalacturonano (HG) o región lisa, y normalmente equivale a un 70 – 80 % de la masa total de la pectina. A su vez, el esqueleto estructural de HG puede estar interrumpido por moléculas de ramnosa unidas por enlaces  $\alpha(1,2)$ , a partir de los cuales se forman cadenas laterales de azúcares, principalmente L-arabinosa y D-galactosa, generando de esta manera la región denominada Ramnogalacturonano (RG) o región ramificada. Es importante señalar que las propiedades funcionales de las pectinas dependen de su grado de esterificación y de los grupos funcionales que interrumpan los residuos de ácido galacturónico, entre otros.

Gamboa (2009: 18- 19) afirma:

La región lisa u homogalacturonano pueden estar acetilados en el carbono C2 o C3, o metilados en el C6 y la región rugosa o ramnogalacturonano I, consistente en un heteropolímero, están interrumpidos por residuos de L-ramnosa unidos por enlaces  $\alpha(1,2)$ , las cuales se pueden unir cadenas largas de arabinano y galactano en el carbono C4. El ramnogalacturonano II, es un polisacárido de 30 unidades que contiene un esqueleto de ácido galacturónico, sustituido por 4 cadenas laterales ramnosa, arabinosa y azúcares no comunes como, apiosa y metilfucosa.

**FIGURA 2.5**  
**ESTRUCTURA ESQUEMÁTICA DE LA PECTINA**



**Fuente: Willats y col. (2006), citado por Gamboa (2009: 19)**

Amos (1969); citado por Maldonado y otros (2010: 178) afirma:

Las pectinas son hidrocoloides que en solución acuosa presentan propiedades espesantes, estabilizantes y sobre todo gelificantes; son insolubles en alcoholes y disolventes orgánicos corrientes, parcialmente solubles en jarabes ricos en azúcares.

La pectina es un coloide que tiene la propiedad de absorber una gran cantidad de agua, pertenece al grupo de los polisacáridos y se encuentra en la mayoría de los vegetales especialmente en los frutos cítricos (Chacín, 2010: 8).

Gómez (1998); citado por Devia (2003: 22) afirma:

Las pectinas se obtienen de materiales vegetales que tienen un alto contenido de éstas, así como manzanas, frutas cítricas, piña, guayaba dulce, tomate de árbol, maracuyá y remolacha. Según el tratamiento que se haga a las materias primas se obtienen diferentes calidades de pectinas, de acuerdo con las necesidades de los productos terminados.

Muñoz (1987: 32) afirma:

La pectina es un compuesto estructural de todas las células vegetales y funciona como sustancia cementante en la lámina media, además está asociadas con otros componentes de la pared celular, tales como la celulosa, hemicelulosa y la lignina que son responsables de la firmeza de algunos productos. Su composición depende la morfología y estado de desarrollo de la planta o el fruto, así como su madurez.

Romero (1997); citado por Chacín (2010: 9) afirma:

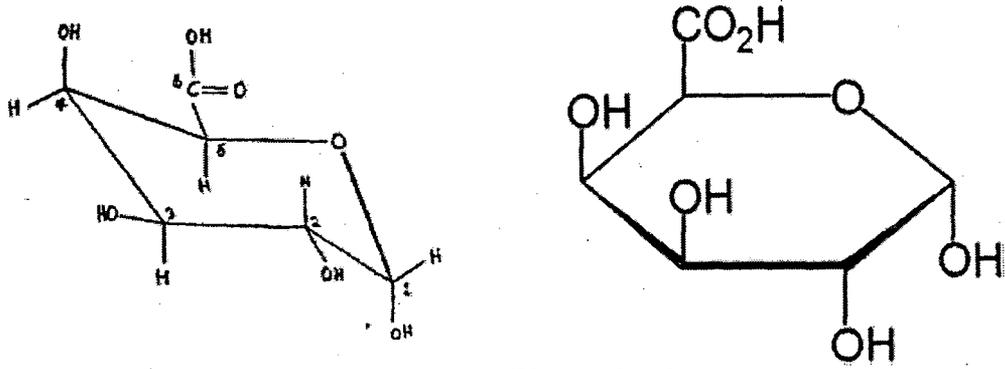
Los mejores estados de madurez, en cuanto a contenido y calidad de pectina son verdes y pintones, debido a que el contenido de ácido galacturónico, porcentaje de metóxilo y grado de esterificación están asociados con el estado de maduración del fruto.

Rivadeneira (2010: 2) afirma:

El grado de madurez demuestra cambios en la composición química interna del fruto y en su textura, estos cambios están asociados con la solubilización progresiva y despolimerización de las sustancias pécticas, evolucionando con el tiempo de forma gradual de protopectinas insolubles a pectinas solubles por acción de la enzima pectinmetilesterasa.

FIGURA 2.6

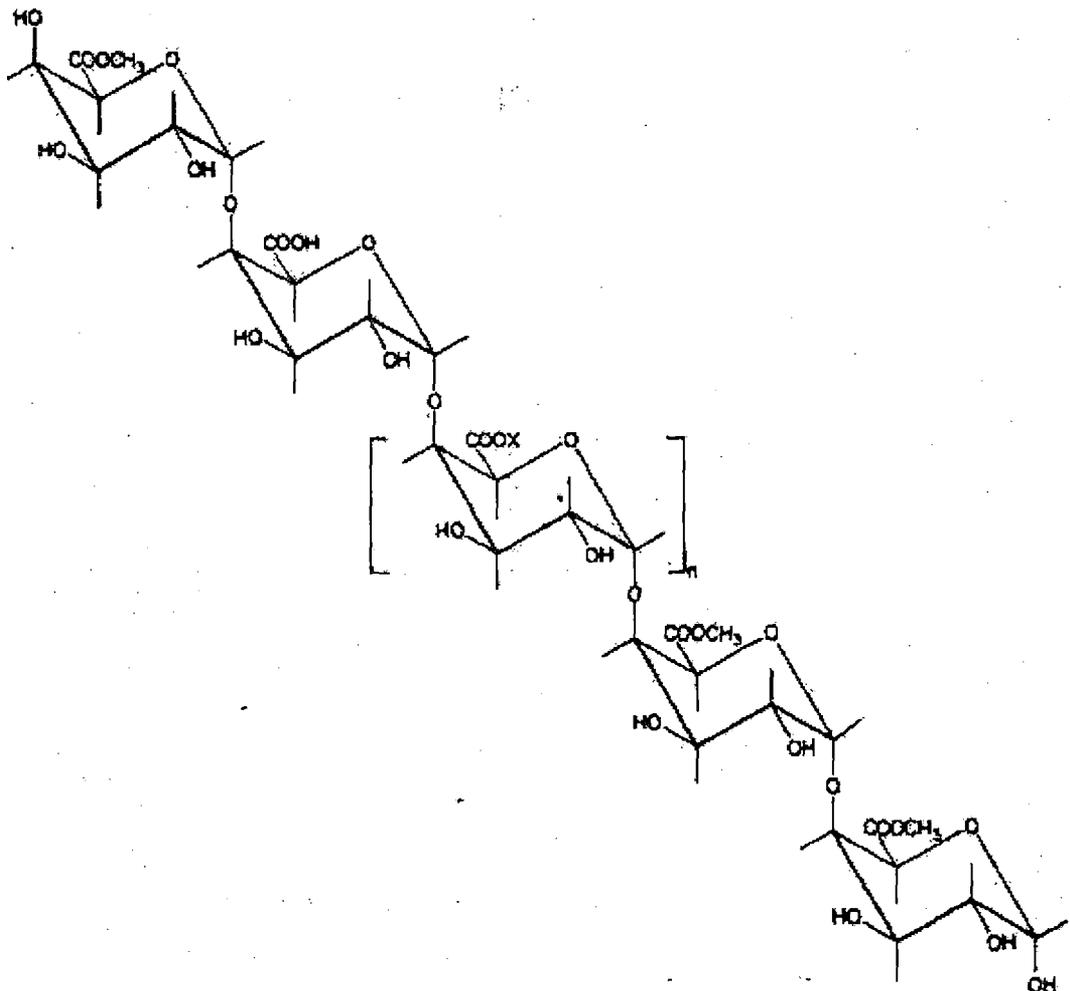
ÁCIDO A-D-GALACTURÓNICO (1-4)



Fuente: Quito y Zárate (2011:4)

FIGURA 2.7

ESTRUCTURA LA MOLÉCULA DE LA PECTINA



Fuente: Grünauer (2009:32)

Quito (2011: 1), afirma que:

La pectina es un polisacárido de gran peso molecular proveniente de las partes blancas o albedo de los frutos cítricos, se clasifica según el contenido de metóxilos llamado grado de esterificación (GE) definido como el número de residuos de ácido D-galacturónico esterificado o metoxilado (-COOCH<sub>3</sub>) por el grupo metilo.

Calderón (2011: 10) afirma:

La pectina es la forma comercial del ácido pectínico, y son polímeros del ácido galacturónico con una cantidad variable de grupos éster metílicos y grado de neutralización, que son solubles en agua y son capaces de formar geles en condiciones apropiadas de azúcar y ácido, o, si su cantidad de grupos metil-éster es baja, con ciertos iones polivalentes. Se encuentra principalmente en la pared celular de las plantas dicotiledóneas en forma de protopectina insoluble.

Gamboa (2009: 17-18) afirma:

Específicamente, los ácidos pectínicos que tienen más de la mitad y hasta tres cuartas partes de los grupos esterificados se denominan pectinas. La estructura de las pectinas se encuentra conformada aproximadamente por unas 150 a 500 unidades de ácido galacturónico parcialmente esterificado por un grupo metóxilo.

### **2.5.3. Tipos de pectina**

Las pectinas se dividen en tres grupos según sus propiedades de gelación, que están asociadas con el grado de esterificación metílica (Herbstreith, 2001; citado por Devia 2003: 22):

### **a) Pectinas de alto metóxilo (HM)**

Pilgrim (1991); citado por Devia (2003: 22), afirma:

Las pectinas con alto índice de metóxilo, que determina el grado de esterificación con radicales metílicos, contienen más de un 50% de unidades del ácido poligalacturónico esterificadas y por lo tanto no reaccionan con iones calcio. El poder de gelación depende, entre otros, del contenido ácido, del tipo de pectina y de la cantidad de sólidos solubles, que generalmente es más del 55%.

García (1978); citado por Calderón (2011: 4) afirma:

Son aquellas pectinas que contienen entre el 50% y 80% de los grupos carboxílicos esterificados con metóxilo, lo cual le permite ser soluble en agua. Cabe aclarar que si se tuviera una pectina con 100% de esterificación sería más bien una protopectina.

Grünauer (2009: 21 - 23), afirma:

Tienen la capacidad de formar geles en pH ácido (2,0 – 4,5), en presencia de sólidos solubles (60 - 65%) e incluso temperatura elevada; sufren rápidas degradaciones en medios alcalinos. Estas pectinas producen geles más rígidos y sólidos que los de menor esterificación.

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

El grado de esterificación de esta pectina es superior al 50%, algunos autores mencionan que debe estar entre (55 - 80%). Entre mayor sea su grado de esterificación las pectinas pueden gelificar a mayores temperaturas y más rápido.

Según su rapidez de gelificación y el medio, se las emplea en la industria de las mermeladas, principalmente aquellas que contienen frutas en suspensión o aquellas mermeladas que contienen bajo contenido de pectinas.

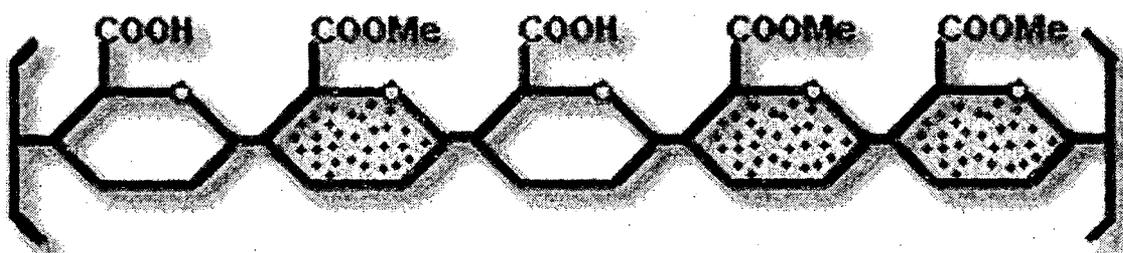
**CUADRO 2.15**  
**TIPOS DE GELIFICACIÓN DE PECTINA DE ALTO METÓXILO SEGÚN SU PORCENTAJE DE ESTERIFICACIÓN**

Gelificación de la pectina	Porcentaje de esterificación (%)
Lenta	60 – 67
Mediana	68 – 70
Rápida	71 – 76

**Fuente: Grönauer (2009: 23)**

Las pectinas de alto metoxilo son principalmente utilizadas como agentes gelificantes en productos a base de frutos, especialmente en la elaboración de mermeladas y conservantes de frutos (Muñoz 2011: 11).

**FIGURA 2.8**  
**ESTRUCTURA DE LA PECTINA DE ALTO METÓXILO (COOMe)**



**Fuente: Cubero (2002); citado por Tapia (2011: 4)**

## **b) Pectinas de bajo metóxilo (LM)**

Devia (2012: 22), afirma:

Las pectinas con bajo índice de metóxilo, son las que tienen menos del 50% de unidades esterificadas del ácido poligalacturónico y por lo tanto forman geles con sólidos solubles que contienen iones calcio. El poder de gelación depende del pH y de la concentración de iones calcio, lo cual influye en la textura de la gelatina formada.

Grünauer (2009: 24 – 25), afirma:

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

Presentan una esterificación menor del 50%, algunos autores indican menor al 45%. Este porcentaje significa que si la cadena de ácido galacturónico tiene por ejemplo 100 grupos carboxílicos y solamente 50 están esterificados se dirá que es de bajo metóxilo; para gelificar requieren la presencia de iones calcio y de un pH de 2,8 a 6,5; ya que en estas condiciones los carboxilos se encuentran ionizados y pueden establecer uniones iónicas con otras moléculas de pectina mediante el  $\text{Ca}^{+2}$ ; de esta manera se crea la estructura básica del gel en la cual a su vez los grupos hidroxílicos de los residuos del ácido galacturónico retienen agua por medio de puentes de hidrógeno, para su gelificación no necesita sacarosa, aun cuando una pequeña cantidad ayuda a proporcionar mayor rigidez ya que favorece a la interacción carboxilo-calcio.

Las pectinas de bajo metoxilo son usadas para preparar geles con un nivel reducido de sólidos disueltos y son de gran interés debido a su valor calórico reducido (Muñoz 2011: 11).

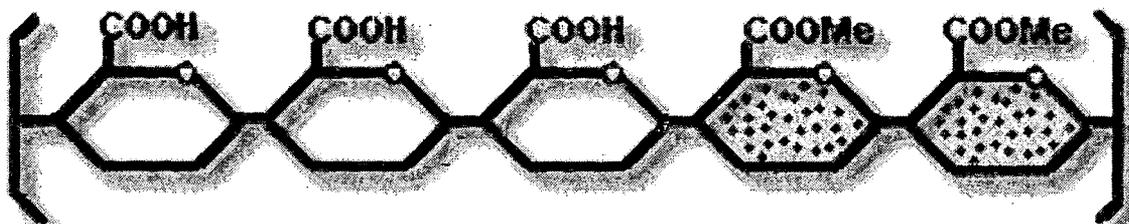
**CUADRO 2.16**  
**TIPOS DE GELIFICACIÓN DE PECTINA DE BAJO METÓXILO SEGÚN**  
**SU PORCENTAJE DE ESTERIFICACIÓN**

Gelificación de la pectina	Reactividad	Porcentaje de esterificación (%)
Lenta	Media	35
Mediana	Intermedia	32
Rápida	Alta	30

Fuente: Muñoz (2011: 10)

**FIGURA 2.9**

**ESTRUCTURA DE LA PECTINA DE BAJO METÓXILO (COOMe)**



Fuente: Cubero (2002); citado por Tapia (2011: 4)

**c) Pectinas amídicas de bajo metóxilo**

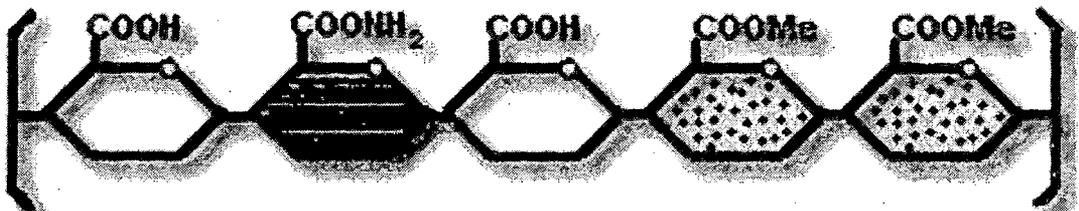
Devia (2012: 22), afirma:

Las pectinas amídicas con bajo índice de metóxilo, son aquellas que han sido desmetoxiladas con amoníaco en lugar de usar ácidos. Cuando se hace el proceso de desmetoxilación, una parte de los grupos éster se reemplaza por grupos amida, lo cual modifica las propiedades de gelación de la pectina. Requieren pequeñas cantidades de iones calcio para el proceso de gelatinización.

Algunas veces aparecen grupos amidados en el lugar de los grupos metoxilados. Esta substitución se acentúa en los procesos industriales de desmetilación en medio amoniacal, dando lugar a pectinas amidadas o amídicas (Grünauer, 2009: 25).

Figura 2.10

**ESTRUCTURA DE LA PECTINA DE BAJO METÓXILO AMIDADA  
(COONH<sub>2</sub>)**



Fuente: Cubero (2002); citado por Tapia (2011: 5)

#### 2.5.4. Sustancias pécticas

Calderón (2011: 2): afirma:

“Sustancias pécticas” es una designación grupal, para aquellos complejos de carbohidratos coloidales, que constituyen una tercera parte de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y de algunas monocotiledóneas, y que poseen una gran cantidad de unidades de ácido anhidrogalacturónico las cuales, se piensa, existen en una combinación tipo cadena. Los grupos carboxil de los ácidos poligalacturónicos pueden estar parcialmente esterificados por grupos metilo. Las sustancias pécticas se encuentran en la unión de las células o en los espacios intracelulares de los tejidos vegetales; allí mantienen una estrecha relación con la celulosa y se conocen con el nombre de protopectina, las cuales son las precursoras de las pectinas. Se ha pensado que la pectina actúa como un cemento dentro de estos tejidos, interactuando con la celulosa de las paredes celulares.

Lawrence (1976); citado por Quito (2011: 3):

Las sustancias pécticas son polímeros lineales del ácido galacturónico, que tienen una parte más o menos amplia de grupos carboxilos esterificados por radicales metilo. La base de su estructura química la constituye el ácido D-galacturónico, cuyos grupos carboxilos están esterificados por radicales metilos en diferente proporción, lo que le da un grado de metilación del cual dependerá su capacidad de producir geles en condiciones normales con azúcar y ácido. El grado de metilación mencionado, es lo que hará que a las pectinas se les pueda clasificar entre las de alto contenido de metóxilo o las de bajo contenido de metóxilo.

El contenido de sustancias pécticas aumenta durante el desarrollo de la fruta pero, conforme madura, este contenido decrece porque las enzimas rompen estos polisacáridos por hidrólisis para transformar estos compuestos en azúcares y ácidos (Vargas 1983; citado por Calderón, 2011: 2).

Quito (2011: 4) nos comenta:

Hacia 1983 se aceptó que todas las sustancias pécticas están compuestas por cadenas rectilíneas de ácidos poligalacturónicos unidos con carbohidratos no urónidos enlazados en forma covalente por enlaces  $\alpha$  (1 - 4).

Grünauer (2009: 17), afirma:

Las sustancias pécticas son polímeros formados principalmente por 600 a 1000 unidades de (1-4)- $\alpha$ -D-ácido galacturónico (forma oxidada de la D-galactosa); algunos arabanos y galanos todos unidos mediante enlace glicosídico en la ubicación  $\alpha$ (1-4). Este polisacárido, contiene grupos carboxilo como parte de la estructura de ácido galacturónico, que pueden estar protonados (-COOH) a pH < 3; en forma ionizada (COO-) a

pH > 3, o esterificado como éster metílico o metoxilado (-COOCH<sub>3</sub>); las sales de los ácidos pécticos son pectatos ácidos o neutros.

Eliseo (2005: 13) afirma:

El albedo fresco (ubicada en el mesocarpio) contiene un 75–80 % de agua, mientras que sus principales componentes, en base seca, están distribuidos aproximadamente de la siguiente manera: azúcares en frutos maduros 44 %; celulosa 33 %, y sustancias pécticas 20 %.

El término sustancias pécticas designa a unos hidratos de carbono coloidales y complejos que comúnmente se encuentran en todos los tejidos de las plantas y en especial en los frutos. Estos están compuestos en su mayor parte por ácidos poligalacturónicos de diferentes grados de esterificación y neutralización, y muestran grandes variaciones en cuanto a su solubilidad en agua.

Pagan (1998); citado por Calderón (2011: 2) afirma:

La naturaleza de las sustancias pécticas es heterogénea y por lo tanto el contenido y características de pectina son variable según cada tejido vegetal, además de su etapa de desarrollo y origen, por lo que se justifica el estudio de diversas fuentes de materia prima como posibles fuentes de extracción de pectina.

Gadmun (196), citado por Quito (2011: 2) establece que las sustancias pécticas contenidas en naranjas y otros cítricos:

- Porcentaje de compuestos pécticos totales en la cáscara y pulpa permanece aproximadamente constante durante la mayoría del periodo de crecimiento
- La razón de conversión de protopectina a pectinas solubles en agua es mayor en la pulpa que en el albedo (cáscara)

- El porcentaje de pectinas solubles alcanza un máximo en el jugo y tegumentos justamente antes de declinar el contenido total péctico.

Las sustancias pécticas se encuentran principalmente en las paredes celulares y los espacios intercelulares de los tejidos vegetales; son capaces de retener gran cantidad de agua y participan en la transferencia de agua en las plantas (Kertesz, 1951; citado por Quito (2011: 3).

Según la "American Chemical Society" (1944); citado por Quito (2011: 3):

Son aquellos compuestos complejos derivados coloidales de hidratos de carbono que se hallan en las plantas y contienen una gran proporción de ácido anhidrogalacturónico en forma de cadena. Los grupos carboxílicos de los ácidos galacturónico pueden estar en parte esterificados por grupos metóxilos y en parte neutralizados por una o más bases.

## **A. Clasificación de las sustancias pécticas**

### **i. Protopectina**

Llamada pectosa o pectina insoluble, se denomina así a la forma precursora de la pectina. En la protopectina se reúnen todos los compuestos pécticos no solubles que fácilmente se desintegran. En mayor cantidad se localizan en las capas intercelulares primarias (Ritcher, 1972; citado por Vásquez, 1993: 26).

La protopectina se desdobra en ácido péctico hidrosoluble por varios procedimientos como su calentamiento con agua, tratamiento con ácidos, agentes de intercambio de iones o enzimas. (Kirk, 1967; citado por Vásquez, 1993: 26).



de maduración, la protopectina insoluble que posee un 100% de grado de esterificación; se transforma en pectina soluble al perder metóxilos, lo que con lleva a la pérdida de firmeza de los frutos; por esto, la mayor cantidad de protopectina se halla en los tejidos de frutos no maduros o verdes; todos los carboxilos de las protopectinas están esterificados.

Según Van Buren (1991); citado por Gamboa (2009: 20):

Las protopectinas, extraíbles con soluciones alcalinas o ácidos diluidos en caliente, presentan una estructura de la molécula similar pero con un alto contenido de azúcares neutros, principalmente galactosa y arabinosa. La dificultad de la extracción de la protopectina puede ser debida a los puentes ácidos o básicos que anclan a la protopectina en la matriz de la pared. Gran parte de las cadenas de protopectina se encuentran en la pared primaria y secundaria, el resto se encuentra en la lámina media. Mientras que las pectinas solubles en agua y en quelantes derivan de la lámina media.

## **ii. Ácidos pécticos o poligalacturónicos**

Son cadenas formadas simplemente por la unión de ácidos galacturónicos cuyos grupos carboxílicos no se encuentran esterificados por el grupo metilo ( $\text{COOCH}_3$ ), debido a esto su grado de esterificación es de 0% (Grünauer, 2009: 19).

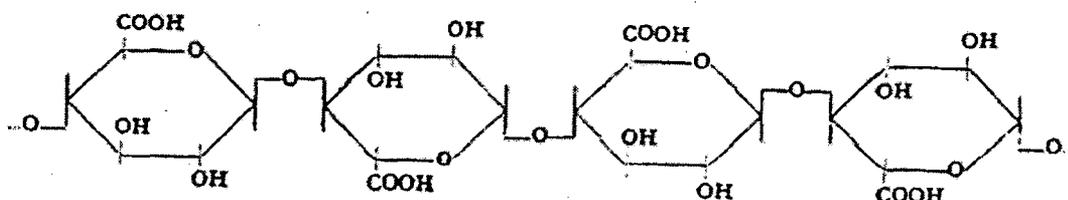
Contienen alrededor de 100 - 200 unidades de ácido galacturónico (Ritcher, 1973; citado por Vásquez, 1993: 27).

Guerra y otros (2012: 8):

Las sales de los ácidos pécticos se denominan pectatos y reaccionan fácilmente con los iones calcio de las células para producir compuestos insolubles en los jugos de frutas, dando un precipitado visible

comúnmente en la separación de fases o abanderamiento en los néctares.

**FIGURA 2.12**  
**ESTRUCTURA DEL ÁCIDO PÉCTICO**



**Fuente: Vásquez (1993); citado por Calderón (2011: 3)**

### iii. Ácidos pectínicos o pectinas

Según Grünauer (2009: 18) afirma:

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

Gamboa (2009: 21) señala que también se pueden clasificar las pectinas de acuerdo a su proceso de extracción de la pared celular en:

- **Pectinas solubles en agua:** son extraíbles en agua o soluciones salinas. Están conformadas primordialmente por homogalacturano y el ácido galacturónico está esterificado con alcohol metílico, variando el grado de esterificación de la pectina de acuerdo a su origen.
- **Pectinas solubles en quelantes:** extraíbles mediante soluciones de agentes quelantes de calcio como el EDTA (ácido etilendiaminotetracético), hexametáfosfato de sodio o CDTA (ácido

ciclohexanodiaminotetraacético). Su composición es muy similar a las pectinas solubles en agua; sin embargo, se diferencian en que pueden presentar un 2% de ramnosa, sustituyendo principalmente al ácido galacturónico en la cadena principal y de 10 a 20% de otros azúcares en las cadenas laterales.

Según la "American Chemical Society" (1944); citado por Quito (2011: 3):

Son los ácidos poligalacturónicos coloidales que tienen una proporción no despreciable de grupos carboxílicos esterificados por metilos. Los ácidos pectínicos, bajo condiciones apropiadas, son capaces de formar geles con ácido y azúcar o, si su cantidad de grupos metil-éster es baja, con ciertos iones polivalentes. Las sales de los ácidos pectínicos son los pectinatos ácidos o neutros.

Este término define los ácidos poligalacturónicos coloidales, que contienen una porción variable de grupos metóxilo. Se originan de los ácidos poligalacturónicos puros de la protopectina por esterificación de algunos grupos carboxilos libres de metanol por acción de una enzima llamada pectinmetilesterasa la cual va solubilizándola (Vásquez 1993; citado por Calderón, 2011: 3)

En la nomenclatura no existe ácido pectínico con todos los carboxilos esterificados. Todas las tentativas para aislar tal ácido pectínico, que habría de contener 16.3% de metóxilo; han fallado; en la práctica, el máximo contenido de metóxilo es de 14% (Piza 1984; citado por Calderón, 2011: 3).

La pectina es un término que se aplica con mayor énfasis al producto comercial. Se le da a los ácidos pectínicos de alto peso molecular que son solubles en agua y que tienen polímeros de ácido galacturónico con una cantidad variable de grupos éster metílicos y grado

de neutralización. Su precursor es la protopectina, que es una sustancia péctica insoluble en agua que origina pectina soluble por despolimerización parcial (Vargas 1983; citado por Calderón, 2011: 3).

La FAO (2009); citado por Calderón (2011: 3) las definen como:

Un aditivo alimentario que se compone principalmente de ácido poligalacturónico con una cantidad parcial de ésteres metílicos y sus sales de sodio, potasio, calcio y de amonio, obtenido por extracción en medio acuoso de material apropiado de plantas comestibles, generalmente frutas cítricas o manzanas; no deben ser usados en su precipitación otros compuestos orgánicos más que el metanol, etanol e isopropanol. Además, el producto comercial es normalmente diluido con azúcares para fines de normalización. En adición al azúcar, las pectinas se puede mezclar con sales tampón adecuadas de grado alimenticio requeridas para el control de pH y establecer las características deseables.

#### **2.5.5. Enzimas pécticas:**

Samson (1985); citado por Menéndez (2006: 728) afirma:

El desarrollo de los frutos es un proceso que involucra varias etapas y se acompaña de diversas transformaciones bioquímicas, las que ocurren de manera continua aún después que las frutas son cosechadas, y promueven cambios que conducen a su maduración y posterior deterioro. Durante la maduración del fruto ocurren cambios importantes en las sustancias pécticas, carbohidratos, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y otros componentes. Estos cambios le confieren al fruto características sensoriales como color, aroma, sabor y textura y son el resultado de la actividad de numerosas enzimas principalmente hidrolíticas.

Aponte (2003:147- 148)

Las características de la maduración del fruto está constituida por la pérdida de la firmeza (liberación del agua ligada y desintegración del tejido), la cual está estrechamente relacionada con la alteración enzimática de la laminilla media y pared celular de los frutos las cuales están constituidas principalmente por sustancias pécticas, celulosa y hemicelulosa.

Pagán (1998: 37):

Las enzimas pécticas se pueden clasificar dependiendo del tipo de actividad que catalizan, en dos grupos: las desesterificantes (pectina esterasas) y las despolimerizantes. Las primeras catalizan la hidrólisis de los ésteres metílicos del ácido poligalacturónico, liberando metanol al medio y convirtiendo las pectinas en ácidos pécticos. Las segundas son un grupo más numeroso de enzimas capaces de desdoblar las cadenas de ácido poligalacturónico de diverso grado de esterificación en unidades de menor tamaño.

Según Grünauer (2009: 25), afirma:

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

#### **a) Las pectinmetilesterasas (PME)**

Es la enzima encargada de la degradación de la pectina, provoca desesterificación, eliminando grupos metil-éster, produciendo ácido péctico o ácido D-poligalacturónico y metanol (Grünauer, 2009: 26).

Hidrolizan los grupos de metil-éster en el átomo de carbono terminal de la cadena galacturónica y es responsable de la liberación de enzimas ligadas a la pared celular, de este modo las enzimas pectolíticas pueden estar involucradas en otras reacciones para la madurez y degradación de las pectinas (Buescher, 1978; citado por Vásquez, 1993: 28).

Willats y otros (2001); citado por Menéndez (2006: 729) afirma:

La PME cataliza la remoción de grupos metóxilo de los ácidos poligalacturónicos metilados, generando grupos carboxílicos libres que afectan el pH y el balance iónico de la pared celular.

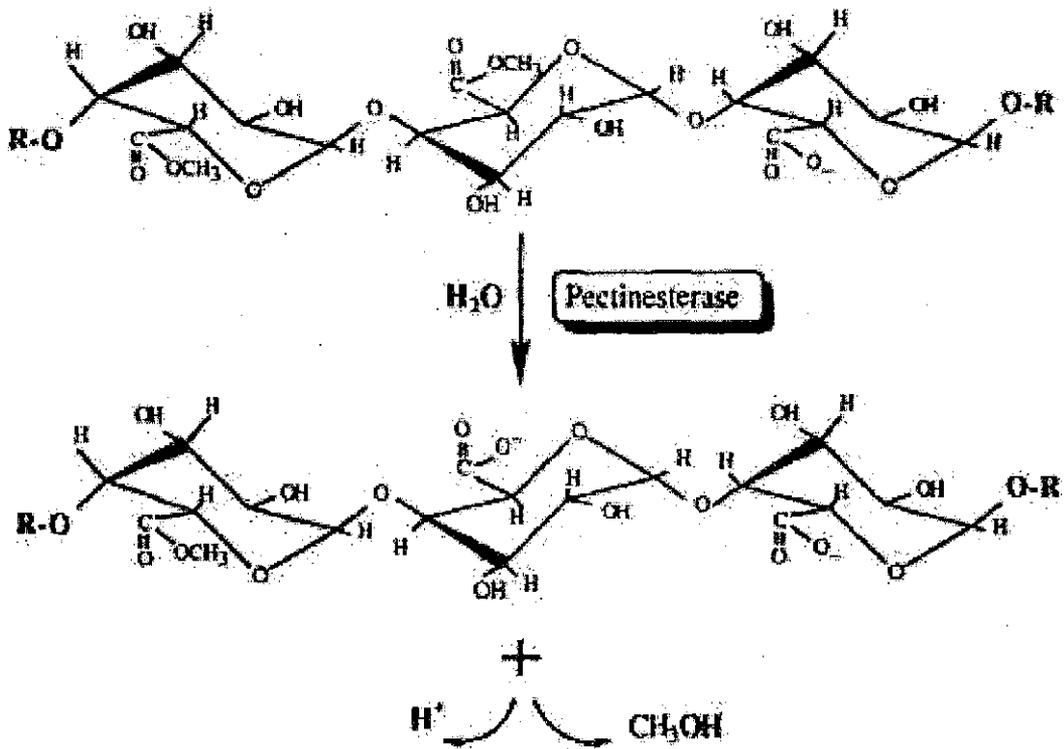
King (1990); citado por Aponte (2003: 147) afirma:

La PME ha sido relacionada con la degradación de las sustancias pécticas de la laminilla medianera de la célula, componente de la pared celular que actúa como agente cementante o ligando entre las células y puede también controlar los movimientos de materiales solubles; esta enzima ha sido establecida en numerosas plantas superiores y está activa especialmente en frutos.

Fayyaz y otros (1994); citado por Aponte (2003: 147) afirma:

El control de la actividad de la PME se encuentra referido ciertos parámetros, como la temperatura y el pH, y ocupa gran importancia en la industria alimenticia quienes procuran mantener las características texturales de los frutos y sus productos procesados. Éstas han sido purificadas y caracterizadas a partir de varias plantas y frutos, como tomates, naranjas, manzanas y toronjas de pulpa blanca y se ha establecido de varias fuentes que tienen características diferentes; en lo que se refiere a peso molecular, actividad específica y otras.

**FIGURA 2.13**  
**REACCIÓN DE DESMETOXILACIÓN CATALIZADA POR LA ENZIMA**  
**PECTINESTERASA**



Fuente: Rivadeneira (2009: 13)

Castaldo y otros (1989); citado por Aponte (2003: 147) afirma:

La PME está involucrada en la pérdida de la estabilidad de los jugos vegetales a través de la desesterificación de las pectinas, seguida por la coprecipitación de los pectatos con los materiales insolubles presentes en los jugos. La desestabilización es observada frecuentemente cuando los productos vegetales han sido sujetos a tratamientos térmicos obteniéndose productos estériles y estables; puede ser causada por actividades enzimáticas residuales que hayan pasado el tratamiento térmico.

## **b) Las poligalacturonasas (PG):**

Esta enzima incide en los enlaces  $\alpha$ -D (1-4). Rompen las cadenas pécticas hidrolizando el enlace glicosídico entre dos moléculas de ácido galacturónico, liberando una molécula de agua (Grünauer, 2009: 26).

Gray y otros (1994); citado por Aponte (2003: 148) afirma:

La PG está involucrada con la degradación de las sustancias pécticas y se ha sugerido que en los frutos en maduración la PME prepara la pared para la hidrólisis a ser ocasionada por el efecto de la PG, la cual ataca los residuos pécticos desmetilados. La principal responsable de la solubilización total de las pectinas insolubles es la PG conllevando de esta manera al ablandamiento del fruto por cambios en la estructura de la pared. Se ha encontrado que la enzima PME incrementa su actividad en el estado preclimaterico mientras que la PG no es detectada en este estado pero sí, y además con aumento de su actividad, en el climaterio (maduro) disminuyendo después de éste.

Pressley y otros (1971); citado por Pagán (1998: 35) afirma:

Hay en general dos tipos de poligalacturonasas. Las exopoligalacturonasas que eliminan residuos de ácido galacturónico y las endopoligalacturonasas que rompen los enlaces  $\alpha$  (1-4) glicosídicos al azar a lo largo de la cadena del urónido. Los dos tipos de enzimas requieren residuos desesterificados. La acción de las exopoligalacturonasas puede estar limitada en que su acción termina cuando hay otros residuos en la cadena como ramnosa, etc., Ambos, exo y endo enzimas se han encontrado en muchos frutos tales como, pera, melocotón, pepino y tomate.

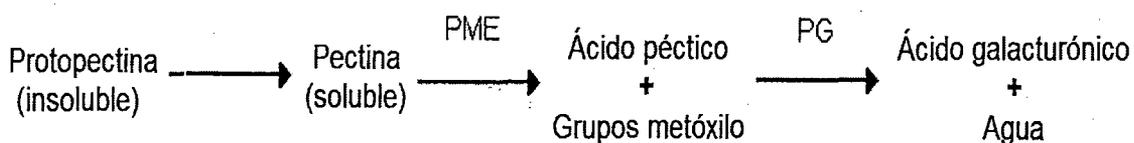
Las endo y exo poligalacturonasas hidrolizan enlaces glicosídicos de los poligalacturónidos desesterificados, produciendo una amplia

variedad de azúcares y ácidos orgánicos (Bowers, 1992; citado por Menéndez, 2006: 729).

John y Dey (1986); citado por Pagán (1998: 35) afirma:

Las enzimas poligalacturonasas se incrementan en todos los frutos durante la maduración. La pectinmetilesterasa está usualmente presente en abundancia en el tejido del fruto mucho antes de que el reblandecimiento se produzca. Es inactiva in situ a menos que el tejido esté traumatizado por procesos como choque de calor, congelación o maceración.

**FIGURA 2.14**  
**DEGRADACIÓN ENZIMÁTICA DE LAS PECTINAS**



**Fuente: Grünauer (2009:40)**

#### **2.5.6. Propiedades químicas.**

- Para que sea una buena pectina el rendimiento no debe ser menor que 6,7% de grupos metóxilos (-OCH<sub>3</sub>) y no menor que 74% de ácido galacturónico (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>7</sub>), calculada sobre base seca (Nacional Formulary USA 25, 2007; citado por Grünauer, 2009: 29).
- Un ácido pectínico completamente esterificado, tendría 16% de grupos metoxílicos y esto es lo que equivale al 100% de esterificación. Normalmente se encuentra en la pectina un 8,5 a 11% de grupos metóxilos, siendo el mínimo necesario para conseguir una buena gelificación 8% de grupos metóxilos.
- El número de grupos metóxilos presentes en la molécula de pectina es el poder gelificante de la misma.

Según Eliseo (2005: 18) menciona:

- Si, a partir de la pectina de alto metóxilo se usa amonio para preparar pectina de bajo metóxilo, algunos de los grupos carboxilatos metílicos se convierten en grupos carboxiamidas, produciendo pectina amidada. La presencia de grupos amida en una pectina de bajo metóxilo hace la molécula menos hidrofílica lo que incrementa su tendencia a formar geles, aún con menor concentración de iones calcio
- La temperatura de gelificación se incrementa con el aumento del grado de amidación.
- El pH de las soluciones de pectina varía de 2,8 a 3,4 como función de grado de esterificación. Como polielectrolitos, las pectinas tienen calculada una constante de disociación aparente de  $3,25 \times 10^{-4}$  a 19°C (Pilnik, 1970; citado por Quito, 2011: 4).

Según Weber (1945); Doesburg (1965); Pilnik y Voragen (1970); citado por Quito (2011: 4):

- Otra propiedad importante de las pectinas es la degradación que presentan por agentes químicos, físicos y bioquímicos. En medio ácido sufren primero desmetoxilación o desesterificación y después la hidrólisis de los enlaces glicosídicos con la consecuente ruptura de la cadena o despolimerización. A bajas temperaturas prevalece la saponificación, mientras que, con el aumento de la temperatura, predomina la despolimerización. Los medios alcalinos también actúan sobre los grupos éster metílicos los que pueden ser eliminados a bajas temperaturas sin una necesaria despolimerización. Esta propiedad es aprovechada en la producción comercial de pectinas de bajo metóxilo. El álcali, además, cataliza el rompimiento del enlace glicosídico. Estas

degradaciones ocurren por sola acción del calor, y en mayor escala, por la acción conjunta ácido-calor o álcali-calor.

Según Reynoso (1976); citado por Grünauer (2009: 28):

- Mediante continuas precipitaciones con soluciones de alcohol de diferentes concentraciones superiores al 60%, las pectinas pueden ser purificadas, siendo compuestas en su mayoría por ácidos pectínicos, los cuales por hidrólisis se descomponen en grupos de ácidos galacturónicos (93%) y alcohol metílico (12%). La suma de los porcentajes es superior al 100% porque en la conversión del grupo  $\text{COCH}_3$  a  $\text{COOH}$ , resulta con un incremento en el peso.
- Esta estructura tiene la capacidad de retener agua y azúcar. La pectina debe tener un grado de esterificación adecuado, ya que siendo los grupos metilo ( $\text{CH}_3\text{-O}$ ) más hidrofóbicos que los oxidrilos ( $\text{OH}$ ), previenen al sistema del acercamiento de las moléculas del polímero.

### **2.5.7. Propiedades físicas.**

Según Grünauer (2009: 26 - 29), menciona:

- La pectina es un sólido blanco o ligeramente amarillento, soluble en agua caliente hasta 2 - 3%; en el agua la pectina forma grumos viscosos por fuera y secos por dentro, por esta razón la pectina se mezcla siempre con azúcar (5 – 8 veces su peso), sales amortiguadoras o se humedece con etanol antes de añadir agua.
- La pectina es un coloide reversible, puede ser disuelto en agua, precipitado, secado y redisolto en agua sin perder sus propiedades físicas.
- La pectina puede ser precipitada en forma de flóculos, en presencia de alcohol o acetona, los que son solubles al agua o en

presencia de ciertas sales como el sulfato de aluminio, sulfato de magnesio y sulfato de amonio, cuyas partículas transportan una carga eléctrica de signo opuesto a la pectina, produciéndose una congelación electrolítica.

- La pectina en un medio ácido está cargada negativamente; la adición de azúcar afecta el equilibrio pectina – agua, de tal forma que la pectina inestable se conglera y forma una malla de fibras a través de la jalea.
- La solubilidad de la pectina en agua se debe, en gran medida, a la presencia parcial de grupos carboxílicos.
- Durante la formación de las jaleas, la presencia del ácido es necesaria para neutralizar los grupos COO<sup>-</sup> que podrían provocar repulsión entre cadenas y romper estructura.

Según Eliseo (2005: 20) menciona:

- Las sales de cationes monovalentes de ácidos pécticos o pectínicos son generalmente solubles en agua. Las sales de cationes di o trivalentes son débilmente solubles o insolubles.
- Las soluciones de pectinas exhiben generalmente comportamiento no-newtoniano, pseudoplástico (la viscosidad varía con la temperatura y la tensión de corte).
- La solubilidad y viscosidad de una pectina está relacionada al peso molecular, al grado de esterificación, a la concentración de preparación, al pH, y a la presencia de iones opuestos en la solución.
- La adición de cationes monovalentes conduce a una reducción de viscosidad, que se acentúa con decreciente grado de esterificación.

- La viscosidad, solubilidad y gelificación, están referidos a factores que incrementan la fuerza del gel. Si aumenta la tendencia a gelificar, disminuye la solubilidad, e incrementará la viscosidad.
- La habilidad de las pectinas a formar geles se pone de manifiesto en presencia de un agente deshidratante (azúcar), un pH cercano a 3 o en presencia de iones calcio. El pH afecta la textura del gel, más que la fuerza de gel.
- A pH constante la fuerza de gel de pectinas de alto metóxilo aumenta con el incremento del grado de esterificación.
- Los geles hechos con pectinas de bajo metóxilo se forman rápidamente y son termorreversibles mientras que los geles hechos con pectina de alto metóxilo se forman lentamente y no son termorreversibles.

Según Quito (2011: 4):

- Las pectinas y pectatos pueden ser precipitados con solventes orgánicos miscibles en agua, con detergentes cuaternarios, con proteínas y con iones polivalentes.

Según Vásquez (1993: 33):

- La solubilidad en agua generalmente aumenta con una mayor metoxilación pero es inversamente proporcional al tamaño de las moléculas.

Según Calderón (2011: 5) menciona:

- La solubilidad será rápida cuando muestra un alto grado de dispersión, de lo contrario, al adicionarlo con agua tenderá a formar grumos viscosos por fuera y secos por dentro.
- La pectina baja en metóxilos y desesterificada por álcali o ácido puede ser precipitada con rendimientos mayores del 90% por el

uso de soluciones ácidas con un pH de 2 y una temperatura de 25°C, cuando el contenido de metóxilos de pectina altamente polimerizada es cerca de 4%.

- Para las pectinas de alto metóxilo, el grado de gelificación o grado de jalea estándar es un número que representa el número de gramos de azúcar que soportaría un gramo de pectina para producir una jalea estándar de 65% de azúcar y una cantidad específica de ácido. Los grados usuales son 100, 150 y 200. Así, 1 g de pectina del grado 100 gelificará 100 g de azúcar.

### **2.5.8. Obtención de la Pectina**

Francis (1975); citado por Maldonado (2010: 178) afirma:

Las pectinas se obtienen de recursos vegetales que tienen un alto contenido de éstas, tales como manzanas, frutas cítricas, piña, guayaba dulce, tomate de árbol, maracuyá, remolacha etc. Durante el desarrollo y maduración de las frutas se efectúa el rompimiento, por hidrólisis, de estos compuestos para formar azúcares y ácidos y consecuentemente la cantidad y calidad de la pectina extraída dependerá, entre otras cosas de la edad y madurez de sus fuentes.

Hart y Fisher (1991); citado por Maldonado et al. (2010: 178):

La extracción se basa en una hidrólisis, separación y recuperación de la pectina; la protopectina se hidroliza en medio ácido diluido en caliente, removiendo así, no sólo la pectina sino también otros productos tales como polisacáridos neutros y gomas. El grado de esterificación final, depende de la temperatura, del pH y de la duración del tratamiento ácido; pudiendo obtenerse pectinas de alto y bajo metóxilo.

Devia (2003: 23 - 24), nos recomienda:

Inicialmente se debe decidir cuál es el aspecto final de la pectina que se desea, porque para un producto puro, de color blanco, se debe separar el mesocarpio o albedo de la epidermis o exocarpio de la cáscara (flavedo), mientras que si se acepta una pectina con algún color, puede omitirse este proceso de separación. El bagazo y la pulpa resultantes de esta separación se pueden aprovechar como sustrato orgánico o como abonos y en algunos casos como alimentos para animales domésticos.

Según Grünauer (2009: 29 - 31): afirma:

El método empleado es por hidrólisis de carbohidratos que consiste en una extracción de pectina en presencia de una solución de ácidos en caliente debido a que los enlaces glicosídicos (se ubican en la posición  $\alpha(1-4)$  formando la estructura de la pectina y se encuentra uniendo un ácido galacturónico con otro ácido galacturónico ya sea esterificado o no) son más rápidamente destruidos en medio ácido que alcalino en los que poseen bastante estabilidad.

Según Potter (1966); citado por Quito (2011: 2):

La extracción de pectina de un tejido vegetal para dar un producto uniforme y estandarizado es un problema mucho más complejo que la extracción de otros materiales vegetales en donde la sustancia es obtenida en la misma forma en que se encuentra naturalmente, como el azúcar de caña o el almidón de cereales por ejemplo.

Quito (2011: 3) afirma:

Una complicación para el productor de pectina es que la materia prima que utiliza es generalmente un subproducto de otros procesos como la fabricación de jugos cítricos o bebidas de cidra; debido a ello, la calidad de la materia prima estará determinada mayormente por los

requerimientos del producto primario que es, frecuentemente, de mayor importancia económica. Por esto, es solo de importancia académica el apuntar que los frutos inmaduros contienen porcentaje de pectina ligeramente mayor que los totalmente maduros. La aplicación de un pH muy bajo con temperaturas muy altas destruye la molécula de la pectina.

Según Calderón (2011: 8):

En la actualidad existen 3 métodos para la extracción de pectinas: por hidrólisis ácida, por métodos enzimáticos y por acción fermentativa de microorganismos. De estos, el principal proceso usado a escala industrial es mediante la hidrólisis ácida, en el cual se pueden emplear varios tipos de ácidos como el sulfúrico, tartárico y cítrico. En cuanto a la vía enzimática y microbiológica, actualmente están siendo estudiados. En todos estos métodos el paso más importante es la solubilización de la pectina, en donde la protopectina insoluble se convierte en pectina soluble debido a la hidrólisis de los enlaces glicosídicos por los ácidos diluidos calientes o por enzimas.

En el método de hidrólisis ácida, la solubilización de la pectina por el ácido se logra agregando a la cáscara una solución de ácido mineral u orgánico en cantidad suficiente hasta acidificar el medio (pH 2 - 3), a una temperatura adecuada (usualmente 80 – 100 ° C), por un tiempo establecido (30 - 60 min), lo cual no es estricto y puede variar dependiendo del material vegetal. En este método existen diversas modificaciones, entre las cuales está la realización de un arrastre de vapor o una inactivación enzimática antes de la hidrólisis, o en la fase de recuperación de pectina de la solución ácida, utilizar un secado por rociada, una precipitación con solventes orgánicos o un método de precipitación con sales. Ha sido demostrado que lo más conveniente es realizar un proceso de inactivación de enzimas antes del proceso de

hidrólisis y realizar la posterior precipitación con solventes orgánicos autorizados (metanol, etanol y/o isopropanol).

Según Abzueta (2012: 11 - 12):

Debido a que las pectinas son compuestos que generalmente se emplean en alimentos, es necesario extraerlas del tejido vegetal mediante el uso de reactivos, disolventes y equipos que no dejen residuos tóxicos en el producto final. Existen diferentes técnicas para la extracción de pectina a partir de tejidos vegetales, en las cuales pueden ser:

**a) Métodos fisicoquímicos.**

Se han empleado dos métodos para extraer la protopectina de las plantas, uno es usando un agente quelante para remover los cationes que constituyen a los ácidos pécticos y el otro mediante el uso de ácidos para romper los puentes de hidrógeno entre la celulosa y los ácidos pécticos.

El rendimiento de pectina depende de las condiciones de operación como la temperatura, el tiempo de extracción, el pH, los tipos de solventes de extracción usados y el uso de agentes quelantes adicionados, como es el caso del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y del ácido ciclohexanodiaminotetraacético (CDTA) para ayudar a liberar pectina de la pared celular.

**b) Método convencional.**

Frecuentemente las pectinas se extraen y se separan de los desechos de diferentes frutos mediante la acidificación. Comercialmente las pectinas se extraen a altas temperaturas para hidrolizar la protopectina usando ácidos como el sulfúrico, fosfórico, nítrico, clorhídrico o cítrico. Después de la concentración, la pectina se precipita con la adición de alcohol, se seca, se granula y finalmente se tamiza.

Se ha encontrado que la extracción de pectina en soluciones acuosas ácidas es suficiente para extraer pectinas que no son sensibles al calcio. Se emplea además otra extracción bajo condiciones de ácidos fuertes para obtener la pectina restante, principalmente aquellas sensibles al calcio. Existen algunos datos experimentales sobre la extracción de pectinas con soluciones neutras o básicas, pero no se ha confirmado con certeza, la concentración adecuada de alcohol para la precipitación de la pectina.

#### **c) Extracción enzimática.**

El método enzimático emplea pectinesterasa o pectinmetilesterasa, la cual convierte a las pectinas de alto metóxilo en pectinas de bajo metóxilo sin la despolimerización de la molécula de pectina.

Se obtuvieron pectinas de bajo metoxilo vía enzimática (pectinesterasa de origen vegetal) con capacidad para formar geles de alta resistencia, y las compararon con geles obtenidos por vía química, encontraron que los geles obtenidos por vía enzimática eran más resistentes (Correa y otros, 1999; citado por Sánchez, 2011:80).

Se extrajeron pectina de pomaza de limón utilizando endopoligalacturonasa de *Aspergillus niger* con objeto de comparar dicho proceso con la extracción convencional, encontrando un rendimiento menor en el método enzimático que en el método convencional (Contreras y otros, 2006; citado por Sánchez, 2011:80).

#### **d) Extracción por microondas.**

Las condiciones de extracción empleadas en el método convencional provocan la degradación térmica de proteínas, lo cual genera pérdidas de cantidad y calidad de la pectina extraída.

Debido a esto, se han establecido nuevos métodos en donde la pectina puede extraerse en menores tiempos y con mejor calidad y rendimiento, como es el caso de la extracción asistida con microondas, que ha mostrado obtener mayor rendimiento y calidad de pectinas en menor tiempo. Los autores sugieren que el efecto del calentamiento con microondas sobre el rendimiento y la calidad de las pectinas extraídas, se debe primero a la desintegración parcial del tejido vegetal y a la hidrólisis de protopectina y en segundo lugar, a la rápida inactivación de enzimas pectolíticas.

### **2.5.9 Precipitación de la pectina**

Según Vargas (2002: 40 – 42):

Actualmente existen muchos métodos de extracción de pectina, y cada uno de ellos pretende ser más eficaz que otro. Sin embargo, siempre existen diferencias, debido a la calidad y condiciones de la materia prima, al método en sí de extracción de pectina, a la manera y tipo de precipitante, a la forma de secar y almacenar el producto, entre otras consideraciones. Entre los métodos de precipitación tenemos:

#### **a) Método de precipitación con solventes orgánicos.**

Este método es el más usado en la actualidad por la posible recuperación del solvente para ser reusado. Los solventes usados para precipitar la pectina son el alcohol y sus variedades, uno con más eficiencia que otros. También se utiliza la acetona, con sus limitaciones por la suciedad que da en el producto.

#### **b) Precipitación con sales metálicas.**

Método alternativo de precipitación ha sido la utilización de sales tales como calcio o cloruro de aluminio. Métodos recientes involucran sales de cobre, níquel, hierro y la remoción de estos iones, mediante

lavados con alcohol acidulado o resinas. Un inconveniente del método es la remoción de los cationes en el producto final, que es dificultosa.

### **c) Método por electrodecantación.**

Este método se fundamenta en la migración de las moléculas de pectina hacia el cátodo y la presencia de iones cobre en el sistema con la consecuente precipitación (Bier, 1960; citado por Quevedo, 1993).

## **2.5.10 Purificación de la pectina**

### **a) Purificación con alcohol.**

Consiste en agregar suficiente alcohol etílico al extracto, llegar a una concentración aproximada de 70 % y luego el precipitado es filtrado para después ser prensado y redissuelto nuevamente en agua.

Después, el alcohol etílico es nuevamente agregado para producir nuevamente una segunda precipitación. El proceso es repetido por tercera vez para obtener un máximo de purificación; con esto se logra reducir el contenido urónico en el producto final. Para reducir el contenido de cenizas se recomienda lavar al precipitado con alcohol acidulado.

### **b) Diálisis.**

Consiste en el sometimiento del extracto viscoso a una serie de placas superficiales promoviendo que el agua destilada fluya por los exteriores, de tal manera que por difusión y diferencia de presiones el agua arrastre las impurezas del extracto.

### **c) Intercambio iónico.**

Columnas de intercambio iónico y resinas catiónicas son usadas para retirar cenizas del extracto pectínico previo a la precipitación por alguno de los dos métodos mencionados.

#### d) Nitración.

Un nuevo método de purificación ha sido sumergido para la obtención de pectina de alta calidad. Este consiste en el sometimiento del material péctico a una nitración, seguida de una desnitración y un separado puro del nitroéster, obteniéndose un producto libre de impurezas. En general, la selección adecuada de un método de purificación dependerá del contenido de impurezas del producto.

**CUADRO 2.17**  
**PORCENTAJE DE PECTATO DE CALCIO TOTAL EN FRUTOS**  
**AMAZÓNICOS, ANDINOS Y COSTEÑOS**

Fruto	Pectato de calcio (%)
Níspero de la sierra ( <i>Nespilus germánica</i> )	8,40
Mesocarpio de la granadilla ( <i>Passiflora ligularis</i> )	8,00
Lúcuma ( <i>Pouteria lucuma</i> )	7,12
Carambola ( <i>Averrhoa carambola</i> )	6,40
Guayaba ( <i>Psidium guajava</i> )	4,95
Cáscara de maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> )	4,90
Ciruelo del fraile ( <i>Bunchosia armeniaca</i> )	4,60
Tomate de árbol ( <i>Cyphomandra betacea</i> )	4,34
Chirimoya ( <i>Annona cherimola</i> Mill)	2,05
Cocona ( <i>Solanum sessiliflorum</i> )	1,38
Cáscara de tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> )	0,99
Jugo de granadilla ( <i>Passiflora ligularis</i> )	0,54
Jugo de tumbo ( <i>Mollísima</i> H:B:K, Bailey)	0,50
Aguaymanto ( <i>Phisalis peruviana</i> )	0,12
Jugo de maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> )	0,09
Yacón ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> )	0,05
Jugo de tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> )	0,02
Camu-camu ( <i>Myrciaria dubia</i> )	Trazas

**Fuente: Chasquibol (2008, 189)**

**CUADRO 2.18**  
**POTENCIAL DE OTROS FRUTOS Y VEGETALES**

<b>Vegetal</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Parte</b>	<b>% Pectina</b>
Jack fruit	<i>Artocarpus integrifolia</i>	Endocarpio	15,40
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Pecíolo	0,17
Ñame	<i>Discorea alata</i>	Cormo	4,62
Camote	<i>Ipomoea bata-tas</i>	Tubérculo	8,99
Yuca amarga	<i>Manihot utlissi-ma</i>	Tubérculo	9,00
Banano	<i>Musa sapien-tum</i>	Pulpa	3,80
Guayaba	<i>Psidium guaja-va</i>	Fruto	0,88
Caña de azúcar	<i>Saccharum officiarum</i>	Bagazo	Trazas
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Fruto	1,77
Maíz	<i>Zea mays</i>	Planta verde	Trazas

**Fuente: Vargas (1983); Citado Por Calderón (2011: 8)**

**CUADRO 2.19**  
**CONTENIDO DE PECTINAS EN VEGETALES Y TEJIDOS VEGETALES**

<b>Origen</b>	<b>Contenido de pectina (%)</b>
Patata	2,5
Zanahoria	10,0
Tomate	3,0
Manzana	5,5
Torta de manzana (residuos)	17,5
Girasol	25,0
Albedo de agrios	32,5
Fibra de algodón	0,7
Pepitas de limón	6,0
Corteza de limón	32,0
Pulpa de limón	25,0
Melocotón	7,5

**Fuente: Pagan (1998, 15)**

### 2.5.11 Mecanismo de formación de gel de pectina

Contreras (2003); citado por Grünauer (2009: 31) afirma:

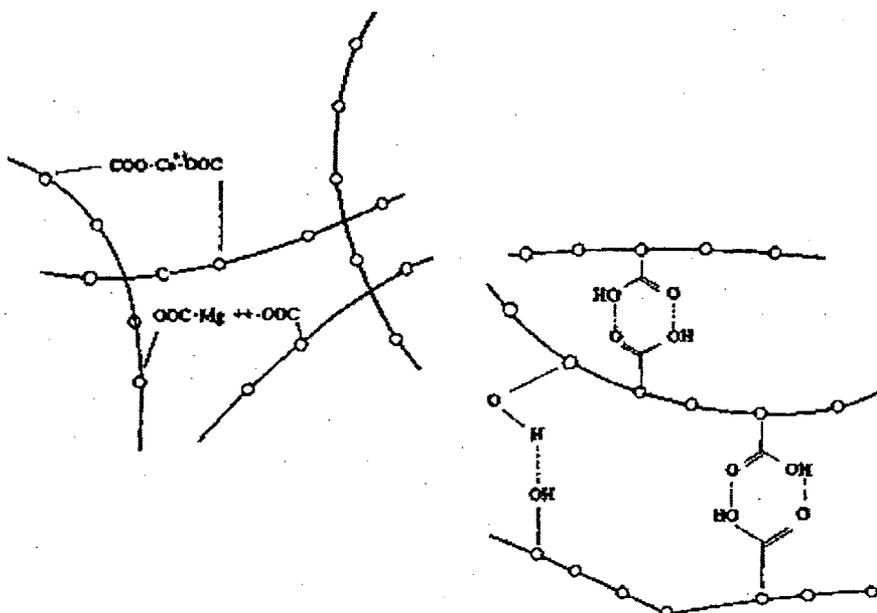
Una capacidad de las pectinas es la de formación de geles fuertes, esto se lleva a cabo cuando la pectina entra en solución acuosa, sus grupos carboxilo se disocian parcialmente para formar iones carboxilo con carga negativa ( $R-COO^-$ ) provocando así el aumento de la carga negativa de las moléculas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

El azúcar desarrolla una acción deshidratante sobre la pectina y la lleva al límite de la solubilidad; el ácido, liberando iones hidrógeno positivos, neutraliza la acción de los iones carboxilo negativos, reduce al mínimo el aumento de la carga eléctrica y la disociación de la pectina y favorece las uniones físicas de sus moléculas.

FIGURA 2.15

#### ESTRUCTURA Y FORMACIÓN DEL GEL DE PECTINA.

(Izq.) Pectina de bajo metóxilo. (Der.) Pectina de alto metóxilo.



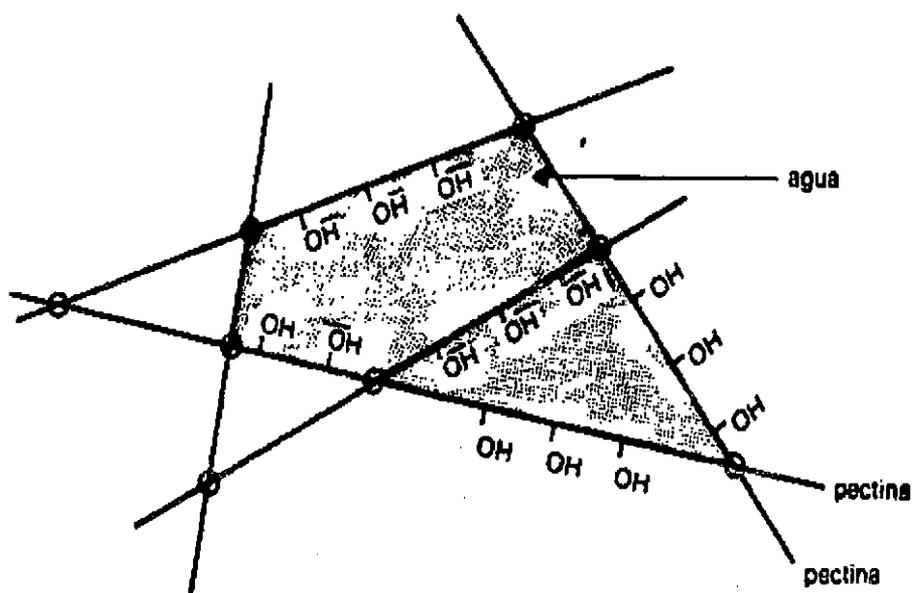
Fuente: Grünauer (2009: 32)

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

Según Fennema; citado por Grünauer (2009: 33) afirma:

Este gel va a depender mucho del grado de esterificación de las pectinas. Generalmente si se ajusta el pH a 2,0 – 3,5 y se añade sacarosa en una concentración de 60 – 65 % se forma gel al enfriar, manteniendo sus características incluso si se calienta hasta 100 °C. El hecho de ajustar el pH a 2,0 – 3,5 previene la ionización de los grupos carboxílicos que se encuentran ionizados a pH 7,0. La sacarosa a las altas concentraciones 60 – 65 %, deshidrata las moléculas de pectina neutralizadas y permite la formación de puentes de hidrógeno y por lo tanto el gel. Los puentes de hidrógeno existentes pueden ser hidróxilo-hidróxilo, carboxilo-carboxilo o hidróxilo-carboxilo (véase figura 2.18).

**FIGURA 2.16**  
**ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL DE LA GELIFICACIÓN DE PECTINA**



Fuente: Grünauer (2009: 32)

La figura 2.18 muestra las uniones de la pectina y la retención del agua por la gelificación. Cuya unión (círculos) es por la estructura de la figura 2.8 y 2.9 (estructura de la pectina de alto metóxilo) o (estructura de la pectina de bajo metóxilo). Los OH (hidróxilo) del ácido galacturónico quedan libres para retener agua mediante puentes de hidrógeno.

Los factores del medio más importantes que condicionan la formación de un gel son, la temperatura, pH, el azúcar y otros solutos y los iones de calcio (Pagán, 1995; citado por Gamboa, 2009: 29):

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

- **Iones de Calcio:** las pectinas de bajo contenido de metoxilo desesterificadas, requieren de considerables cantidades de calcio y un rango estrecho de dicho catión para una óptima gelificación. Generalmente, un aumento en la concentración de calcio implica un aumento en la fuerza del gel y también un aumento en la temperatura de gelificación.

### **2.5.12 Usos de la pectina**

#### **a. En la industria alimentaria:**

Calderón (2011: 9):

- Tradicionalmente la pectina es utilizada en la industria alimentaria como agente gelificante, estabilizante y espesante. Dependiendo del tipo de pectina, dosificación y de la composición del sistema en el que actúan, se pueden obtener texturas suaves y tixotrópicas hasta firmes y cohesivas.
- La formación de geles a partir de pectina se puede utilizar para estabilizar alimentos con fases múltiples, ya sea en el producto final o en una fase intermedia del proceso.
- El efecto espesante de la pectina en términos de aumento de viscosidad es utilizado principalmente en donde las regulaciones alimentarias previenen el uso de gomas más baratas o donde la imagen de un producto completamente natural es esencial.
- En la elaboración de jaleas, mermeladas y afines, para lo cual la pectina de bajo contenido de metóxilo resulta ser la mejor y además la más económica opción, ya que en la preparación de la jalea bastará un 40 a 45% de sólidos solubles en lugar del 65% acostumbrado si se utilizará una pectina de alta calidad con 7 u 8% de metóxilos.

- En bebidas y conservas de frutas como restaurador de textura; en mezclas alimenticias y para derivados lácteos como quesos y helados como estabilizador y emulsificante y para la fabricación de caramelos masticables o gomitas.

Abzueta (2012: 9 - 10):

- Las pectinas proporcionan, la elasticidad, estructura y realce natural del sabor inherente de la fruta y permite un corte liso, brillante. Las pectinas tienen un gran potencial de aplicación en el campo de confitería, jaleas de fruta, gomas de fruta, rollos de fruta delicados, crema artificial de postre, rellenos para bombones.
- Los preparados de fruta de productos lácteos ácidos requieren pectina, ya que ésta proporciona las propiedades reológicas requeridas y garantiza una regular distribución de fruta en el contenedor debido a su punto de producción, una mezcla homogénea con el producto lácteo fermentado y una buena duración del producto final. En el yogurt de fruta, las pectinas proporcionarán los preparados de fruta con una estructura lisa y cremosa y a la fruta el sabor específico. Ayudan también en una distribución regular de las partículas de la fruta. En estos productos tienen un efecto que estabiliza y guarda la preparación de fruta separada del yogurt.
- Las pectinas en bebidas de yogurt protegen la proteína en una gama de pH baja, contra el calor (desnaturalización) durante el proceso de pasteurización, previniendo así la sedimentación y floculación. Esto garantiza un producto estable.
- Las pectinas son componentes sumamente convenientes en refrescos debido a su naturaleza de hidrato de carbono de pocas calorías y la estabilización de turbiedad y la viscosidad.

- Las salsas ketchup de tomate de alta calidad tendrán que presentar características reológicas muy específicas y estrictas. La adición de una pectina compensará los defectos de la pectina natural a la vista al punto de producción definido y el comportamiento estructural viscoso.

**b. En la medicina e industria farmacéutica:**

Abzueta (2012: 11):

- El efecto astringente y los efectos curativos de las pectinas son empleados en ungüentos. Además, las pectinas ayudan a evitar la elevación de los niveles de glucosa en la sangre y provocan la disminución del colesterol.
- Las medicinas son encapsuladas con una película de pectina para proteger la mucosa gástrica y permitir la liberación sostenida de la sustancia activa en la circulación de sangre.

Calderón (2011: 9):

- La base de las aplicaciones farmacéuticas de la pectina, son sus propiedades hidrocoloidales y terapéuticas, además que produce un efecto de aumentar la acción de otros principios activos.
- La pectina está en los tratamientos de gastritis y úlceras ya que al ser ingerida cubre las paredes estomacales de una especie de película más o menos gelificada y la protege de las hipersecreciones gástricas y biliares. Otros usos farmacéuticos es en la preparación de soluciones de insulina, sustituto del plasma sanguíneo, tratamiento de heridas y para efecto antidiarreico.

Pagan (1998: 45 - 46):

- La hipoglicemia y el síndrome de reflujo gástrico disminuyen y mejoran respectivamente cuando se consume la pectina con la comida.
- La acción antidiarréica es la propiedad más universalmente conocida, incluso antes de descubrirse la molécula de pectina. Este efecto se acompaña frecuentemente de una acción antivomitiva, permitiendo a los niños de corta edad asimilar y tolerar mejor los alimentos, en particular leches y productos lácteos, y es, sin duda, consecuencia del papel de protector y regulador del sistema gastrointestinal.
- La interacción de pectina en vitaminas ha sido estudiada muy poco en personas y animales. El consumo de vitamina C con pectina, puede ser beneficioso a las personas hipercolesterolémicas. La absorción de vitamina B12 parece reducirse con pectina mientras otras vitaminas estudiadas no muestran reducción en su biodisponibilidad.

**c. Otros usos industriales:**

Abzueta (2012: 11):

- En la industria de cosméticos, la pectina es usada como un proveedor de estructura natural para pastas. En desodorantes y pastas de dientes, la pectina cubre sustancias de sabor especiales, pero también es usada como agente espesante.
- En la industria tabacalera, especialmente la pectina es usada como un pegamento natural para los envoltorios de cigarrillos. Estos ejemplos demuestran el potencial de desarrollo de pectina y las posibilidades y ocasiones que esperan en el futuro

Calderón (2011: 9):

- Se usan como absorbentes en jabones, para el endurecimiento del acero u otras aleaciones en los que se usa una solución de pectina de 0,2 a 4% en vez de los aceites debido a que la operación se regula con mayor facilidad cambiando las concentraciones.
- En el recubrimiento de láminas de aluminio o en la industria de plásticos y fabricación de productos espumantes como agentes de clarificación y aglutinantes.
- En la preparación de sustancias adhesivas en sustitución de la dextrina o para la elaboración de medios de cultivos en microbiología.
- Como posibles absorbentes de metales pesados provenientes de la aplicación sucesiva y masiva de los pesticidas y fertilizantes químicos.
- Como eficientes adsorbentes de iones metálicos, indicando que la pectina de manzana tiene una gran afinidad por el  $\text{Co}^{+2}$ , la pectina de remolacha por los iones  $\text{Cu}^{+2}$  y  $\text{Cd}^{+2}$  mientras que la pectina de cítrico muestra preferencia por los iones  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  y  $\text{Pb}^{+2}$ . También se ha estudiado la adsorción de  $\text{Cd}^{+2}$  por gel de pectina procedente de remolacha dulce.

López (1992: no pág.)

- Como humectante que impide la pérdida de la humedad cuando se incorpora a los alimentos.
- Las pectinatos metálicos son como revestimiento para carnes, dulce y otros alimentos para impermeabilizarlos del aire.
- Como estabilizadores de las suspensiones, debido a la propiedad de retardar el depósito de las partículas coloidales.

- Por su alta afinidad por el plomo, el ácido péctico puede ayudar a remover el plomo de vinos y otros alimentos líquidos.

### 2.5.13 Importación de la pectina

Según Chasquibol (2008: 181):

El Perú, al igual que la gran mayoría de los países de Latinoamérica, no produce pectina ni sus derivados, importándose para cubrir la demanda de la industria alimentaria y farmacéutica.

De esta región latinoamericana solo México ha logrado apropiarse del mercado mundial, exportando cerca de 5 mil toneladas al año, con un importe de 45 millones de dólares. El precio promedio de pectina dentro del país es de US\$11,97.

Se estima que la producción mundial de pectina es de 35,000 toneladas por año. Los principales productores son Dinamarca, Holanda, Estados Unidos, Canadá, México, Suiza y Alemania.

**CUADRO 2.20**  
**DEMANDA DE PECTINA EN EL PERÚ**

Año	Importación (Kg)	Exportación (Kg)	Demanda (Kg)
2000	55 429,52	1 900,00	53 529,52
2001	52 710,00	125,00	52 585,00
2002	74 640,03	420,80	74 219,23
2003	80 345,00	525,00	79 280,00
2004	119 651,05	1 238,62	118 421,43
2005	106 542,72	475,00	106 067,72
2006	145 657,70	1100,00	144 557,70
2007	117 733,74	1525,00	116 208,74

**Fuente: SUNAT (Incluye pectinatos y pectatos)**

**CUADRO 2.21**  
**IMPORTACIÓN RELATIVA DE PECTINA POR PAÍS DE ORIGEN**

<b>Año</b>	<b>México (%)</b>	<b>Dinamarca (%)</b>	<b>Suecia (%)</b>	<b>Francia (%)</b>	<b>Otros (%)</b>
2000	24	45	18	7	6
2001	36	28	10	15	11
2002	56	12	8	14	10
2003	54	8	7	13	8
2004	42	7	13	24	14
2005	66	1	20	8	5
2006	62	3	22	11	1
2007	61	5	12	5	17

**Fuente: SUNAT (Incluye pectinatos y pectatos)**

**CUADRO 2.22**  
**PRECIO PROMEDIO DE PECTINA EN EL PERÚ**

<b>Año</b>	<b>Precio importación US\$/Kg</b>
2000	12,10
2001	12,21
2002	11,58
2003	12,77
2004	12,29
2005	12,30
2006	11,46
2007	11,03
Promedio	11,97

**Fuente: SUNAT (Incluye pectinatos y pectatos)**

## **2.6. Características químicas de la pectina**

### **2.6.1 Peso equivalente (PE)**

El peso equivalente está asociado con la cantidad de grupos carboxilos libres que conforman la cadena de pectina y que los mismos aumentan con el estado de maduración de la fruta (Gamboa, 2009: 60).

Esta característica nos indica el número de cargas negativas libres de los ácidos carboxílicos de la molécula de la pectina (Aceves, 1987: 162).

Asimismo nos permite tener una idea del poder gelificante y viscosidad de la pectina, ya que estas características están muy asociadas con el peso molecular y el tamaño de la cadena de pectina (Gamboa, 2009: 63).

### **2.6.2 Contenido de metóxilos (%Me)**

Calderón (2011: 5), afirma:

Se denomina contenido de metóxilos (% Me) a la relación de grupos ácido galacturónicos metoxilados totales en el entendido de que el ácido galacturónico sólo está parcialmente esterificado. El grado metoxilación es un parámetro importante en la estimación del comportamiento de una pectina en cuanto a su velocidad de dispersión en soluciones acuosas, tiempo de gelificación del gel producido con ella, sensibilidad a cationes polivalentes y su capacidad para formar geles normales o de bajo contenido de sólidos.

La proporción de metilación se expresa por el contenido en metóxilo (-OCH<sub>3</sub>) lo cual dará a la pectina un grado determinado, sea alto si es mayor de 7 % o bajo si es menor a esa cantidad (Véliz, 1984: 58).

Según Pagán (1998: 47):

Es una característica química de la pectina y que está relacionada con la capacidad de gelificación (característica importante de las pectinas). Cuando el contenido de metóxilos es elevado, indica que la pectina gelifica con facilidad.

Gamboa (2009: 70) afirma:

Las pectinas con alto contenido de metóxilos presentan una alta solubilidad en agua y una rápida gelificación y solidificación de sus moléculas, y sus disoluciones son estables en medios ácidos (pH: 2,5 – 4,5) pero no en medio alcalino. Sin embargo, resultan más susceptibles a la degradación enzimática por lo que se puede decir, que este parámetro permite determinar la aptitud tecnológica de la pectina.

**CUADRO 2.23**  
**RELACIÓN ENTRE EL GRADO DE ESTERIFICACIÓN Y EL**  
**CONTENIDO DE METÓXILO EN PECTINA**

<b>Grado de esterificación (%)</b>	<b>Contenido de metóxilos (%)</b>
0	0,00
10	1,63
20	3,26
30	4,90
40	6,53
50	8,16
60	9,79
70	11,42
80	13,06
90	14,69
100	16,32

**Fuente: García (1978); citado por Calderón (2011: 5)**

### **2.6.3 Ácido galacturónico (AG)**

Calderón (2011: 6), afirma:

Sirve para definir la fuerza del precipitado y comprobar la pureza del producto, puesto que la pectina es un polímero del ácido galacturónico. La FAO indica que el contenido de ácido galacturónico ( $C_6H_{10}O_7$ ) en una pectina de buena calidad no debe ser menor del 65% calculado en base seca. Valores menores a este son indicativo de que ha ocurrido una fragmentación de la pectina, ya sea por hidrólisis o acción enzimática.

Pagán (1998); citado por Gamboa (2009: 76) afirma:

La riqueza de la pectina en ácidos galacturónico (AG), es otro de los parámetros importantes a determinar ya que permite tener una idea de la pureza de la pectina obtenida. Sin embargo, el AG por ser un azúcar, una forma oxidada de la D-galactosa, estará acompañado de azúcares neutros como, L-arabinosa, L-ramosa, D-galactosa y de algunas impurezas arrastradas en las extracciones.

Link and Dickson (1930); citado Gamboa (2009: 76) afirma:

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

### **2.6.4 Grado de esterificación (GE)**

El grado de esterificación se define como el porcentaje de grupos carboxílicos-urónidos que se encuentran esterificados con metanol, sobre el total urónido contenido en la pectina (Calderón, 2011: 5).

Hay una amplia gama de grados de esterificación dependiendo de especies, tejido y madurez. En general las pectinas del tejido tienen una gama de grados de esterificación que va del 60 al 90% (Pagan, 1998: 16).

Según Grünauer (2009: 18) afirma:

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

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

Debido a esto, el parámetro químico más importante para el análisis de las pectinas es el grado de esterificación (GE), es decir, el número de funciones carboxilo esterificadas por 100 grupos de ácido galacturónico; esto permite distinguir dos grupos de pectinas: Pectinas fuertes metiladas o de alto metóxilo cuyo contenido de ésteres metílicos es superior al 55% y las pectina débilmente metiladas o bajo metóxilo con un contenido menor de ésteres metílicos alrededor del 45%.

Rivadeneria (2009: 15 – 16), afirma:

Las características del gel a formar dependen esencialmente del grado de esterificación que influye en la resistencia de los geles, la viscosidad de las disoluciones y la velocidad de formación del gel, indicando que el número de grupos metoxílicos presentes en la molécula de pectina es el poder gelificante de la misma. Es decir, que la resistencia del gel y la velocidad de gelificación disminuyen con el grado de

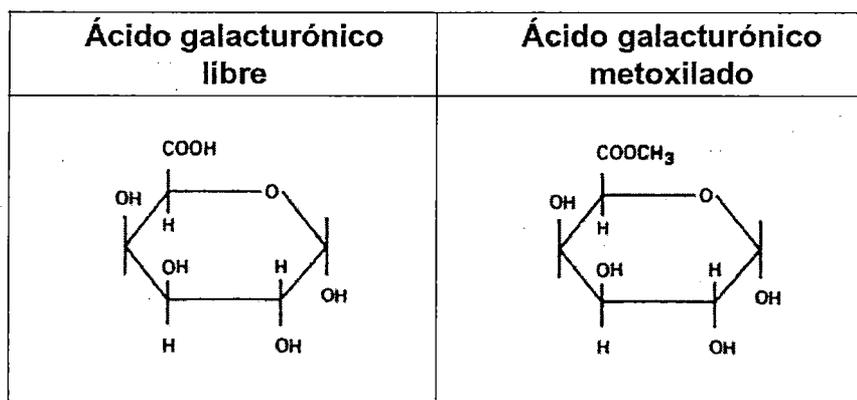
esterificación. Ello puede ser explicado probablemente por el aumento de interferencia esférica que producen los grupos metil-éster sobre las interacciones intermoleculares mediante puentes de hidrógeno. Mientras que con las de grado de esterificación mayor decrece el tiempo de gelificación, lo cual puede ser debido al incremento de la interacción hidrofóbica entre las moléculas de pectina.

Gamboa (2009: 72) afirma:

Las cadenas de pectinas con alto porcentaje de metóxilos tenderán a presentar un grado de esterificación superior al 50%. Además, la proporción de los ácidos carboxílicos presentes se encuentran metoxilados (esterificados con metanol), mientras que el grado de esterificación establece el porcentaje de ácidos carboxílicos que se han sintetizado para forma un éster – metoxílico. Tiene relevancia su determinación, ya que generalmente los grupos éster tienden a ser menos hidrófilicos que los grupos ácidos, lo cual resulta de gran importancia al momento de establecer el uso de las pectinas.

**Figura 2.19**

**Estructura de un ácido galacturónico**



Fuente: Grünauer (2009:35)

## 2.7. Definición de términos utilizados

- **Ácidos urónico:** Cuando la oxidación de la aldosa solo forma un grupo carboxilo en alcohol primario y se conserva intacto el aldehído se obtiene un ácido urónico, como el ácido glucurónico y ácido galacturónico.
- **Actinomorfa:** En botánica, que tiene simetría radial. Dícese de las flores que pueden dividirse en mitades simétricas por dos planos distintos.
- **Androginóforo:** Porción alargada del eje de algunas flores sobre el cual se insertan el androceo y el gineceo. Ejemplos: Passiflora.
- **Anhidro:** Sustancia que no contiene agua.
- **Aovada:** Hoja aovada bot. La de figura redondeada y roma, más ancha por la base que por la punta.
- **Aserrado:** Hoja aserrada bot. La que tiene bordes dentados e inclinados hacia la punta, poseen pequeñas formas puntiagudas de manera inclinada.
- **Astringente:** Es cualquiera de las sustancias que con su aplicación externa local, retraen los tejidos y pueden producir una acción cicatrizante, antiinflamatoria y antihemorrágica. El sabor astringente es una sensación entre sequedad intensa y amargor que se produce en la boca
- **Coagulación:** Se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. En esta etapa las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs tal que por su peso específico puedan precipitar.
- **Coloidal:** Un coloide o sistema coloidal es un sistema formado por dos o más fases, principalmente una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general en menor proporción.

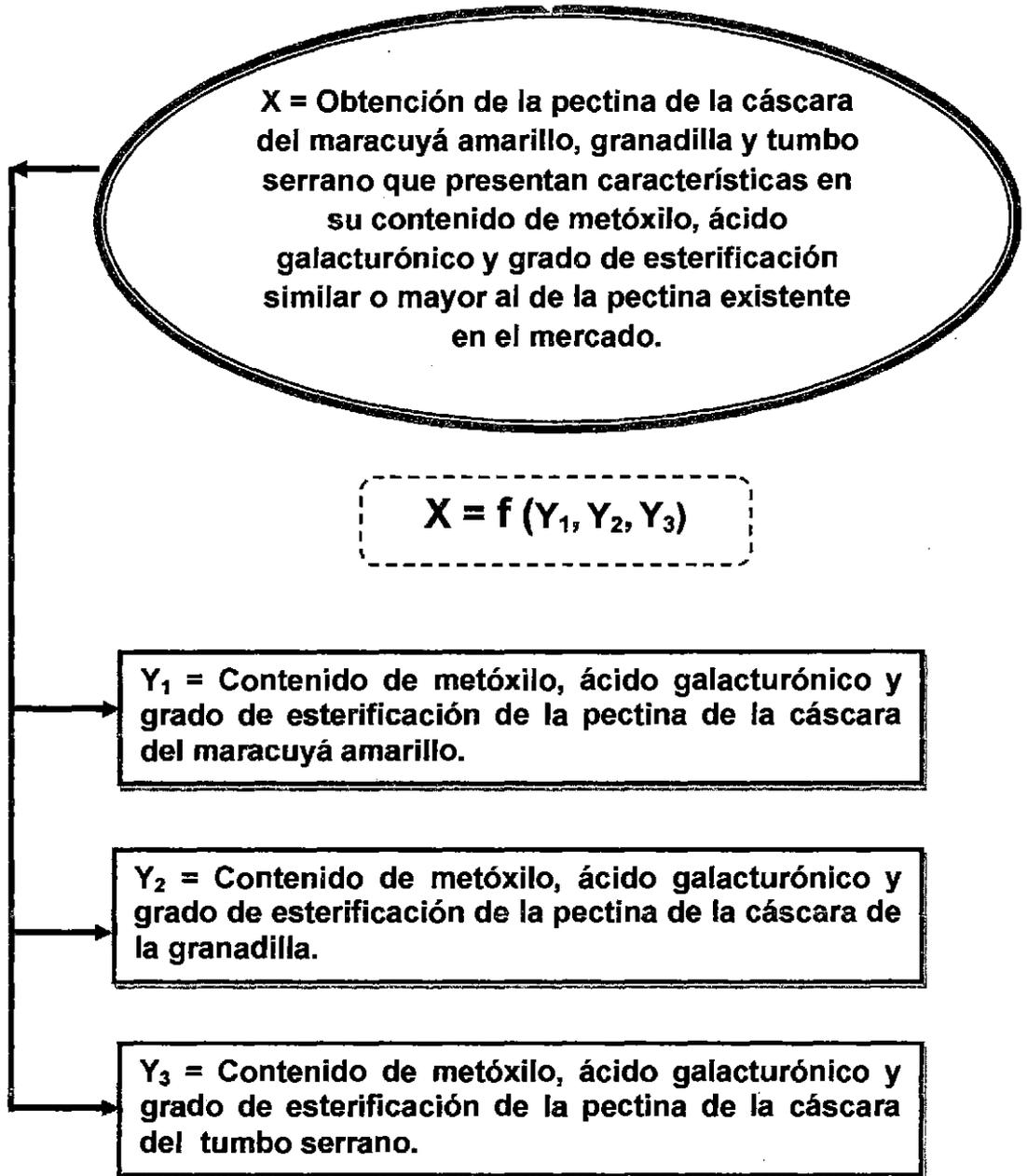
- **Dicotiledónea:** Son una clase de plantas fanerógamas angiospermas, cuyos embriones de las semillas presentan dos cotiledones u hojitas iniciales, opuestos por lo común.
- **Diseño factorial:** También llamado “experimento factorial” o “arreglo factorial”. Es el diseño en el cual todas las posibles combinaciones de los niveles de dos o más factores se dan de forma conjunta.
- **Emulsión:** Una emulsión es una mezcla de líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea. Un líquido (la fase dispersa) es dispersado en otro (la fase continua o fase dispersante).
- **Endocarpio:** Zona periférica que contiene gran cantidad de pigmentos carotenoides amarillentos. Es un segmento de protección, sacos de jugos y membranas carpelares. Contiene celulosa, protopectina (menor cantidad), azúcar, flavononas, aminoácidos, minerales, vitamina C y otros nutrientes.
- **Enzima:** Molécula formada por proteínas que producen las células vivas y que actúa como catalizador y regulador en los procesos químicos del organismo.
- **Epicarpio o flavedo:** Parte externa del fruto, contiene pigmentos, carotenoides, vitaminas, aceites esenciales.
- **Espasmo:** Contracción involuntaria de los músculos, causada generalmente por un mecanismo reflejo.
- **Fasciculada:** Que está formado por elementos agrupados en pequeños haces. Ejemplo: raíz fasciculada.
- **Gastralgia:** Dolor de estómago.
- **Glucemia:** Presencia de azúcar en la sangre, especialmente cuando es excesiva.
- **Heteroclamídea:** Dícese de la flor que tiene cáliz y corola diferenciadas, se aplica a la flor que tiene los verticilos bien diferenciados.

- **Hidrocoloide:** Son sustancias que cuando se disuelven o dispersan en agua producen espesamiento o gelificación. La mayoría son polisacáridos, aunque algunas proteínas (por ejemplo, la gelatina) también se ajustan a la definición. se utilizan ampliamente como aditivos en los alimentos
- **Hidrólisis:** Descomposición de sustancias orgánicas e inorgánicas complejas en otras más sencillas por acción de agua.
- **Higroscópico:** Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos, y de todos los orgánicos, de absorber, exhalar y conservar la humedad.
- **Hipercolesterolemia:** Es la presencia de niveles elevados del colesterol en la sangre.
- **Hipoglicemia:** Es cuando la cantidad de azúcar en su sangre no es suficiente para darle a las células del cerebro o a los músculos la energía que necesitan para funcionar.
- **Inserción:** Acción y efecto de incluir o introducir una cosa en otra
- **Isotónica:** Es aquel en el cual la concentración de soluto es igual fuera y dentro de una célula.
- **Lactogénico:** Que produce leche.
- **Limbo:** Parte ensanchada y aplanada de las hojas, sépalos, pétalos y tépalos.
- **Melaza:** Residuo líquido espeso, dulce y oscuro, que resulta de la cristalización del azúcar.
- **Mesocarpio o Albedo:** Es la parte blanca entre la cáscara y la pulpa, contiene celulosa y carbohidratos solubles, protopectina, pectina, flavononas, glucósidos, aminoácidos, vitaminas.
- **Nectario:** Glándulas que segregan una solución azucarada llamada néctar
- **Nervadura:** Conjunto de nervios de una hoja.
- **Oblongos:** Que es más largo que ancho.

- **Palminervia:** Cuando el peciolo está ramificado en distintos nervios (Hojas según su nervadura).
- **Peciolo:** Rabillo de la hoja de una planta, por el que queda unida al tallo.
- **Pedúnculo:** Rabillo de la hoja, flor o fruto con que se une al tallo.
- **Polisacárido:** Hidrato de carbono formado por una larga cadena de monosacáridos.
- **Pubescencia:** En botánica, hoja que presenta una superficie cubierta de pelillos que retienen el rocío matutino.
- **Reología:** Se dedica al estudio de la deformación y el flujo de la materia.
- **Sépalo:** A la pieza floral que forma el cáliz de una flor de una planta angiosperma.
- **Tipificar:** Representar una persona, el tipo de la especie o clase a que pertenece.
- **Tixotropía:** Propiedad de algunos fluidos pseudoplásticos y no newtonianos que muestran un cambio de su viscosidad en el tiempo; cuanto más se someta el fluido a esfuerzos, más disminuye su viscosidad.
- **Trilobulado:** Tiene tres lóbulos (partes que sobresalen en el borde de una cosa).
- **Vermífugo:** Que tiene la propiedad de matar o expulsar las lombrices intestinales.
- **Verticilos:** Conjunto de tres o más hojas, ramas u otros órganos que brotan de un tallo en el mismo nivel.
- **Zarcillo:** Órgano largo, delgado y voluble que tienen ciertas plantas para asirse a tallos u otros objetos.

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1 Variables de la investigación.



### 3.2 Operacionalización de variables.

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MÉTODO</b>
X = Obtención de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano que presentan características en su contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Comparando Y <sub>1</sub> , Y <sub>2</sub> y Y <sub>3</sub> con X.
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MÉTODO</b>
Y <sub>1</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens
Y <sub>2</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara de la granadilla.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens
Y <sub>3</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del tumbo serrano.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens

### 3.2 Operacionalización de variables.

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MÉTODO</b>
X = Obtención de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano que presentan características en su contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Comparando Y <sub>1</sub> , Y <sub>2</sub> y Y <sub>3</sub> con X.
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MÉTODO</b>
Y <sub>1</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens
Y <sub>2</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara de la granadilla.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens
Y <sub>3</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del tumbo serrano.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens

### **3.3 Hipótesis general y específica.**

#### **Hipótesis General**

Las pectinas de la cáscara del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano obtenida por hidrólisis ácida presentan características en su contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación que permita su utilización en la industria en sustitución de la pectina existente en el mercado.

#### **Hipótesis Específicas**

- Los contenidos de las características químicas: contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo extraída por hidrólisis ácida es similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.
- Los contenidos de las características químicas: contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara de la granadilla extraída por hidrólisis ácida es similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.
- Los contenidos de las características químicas: contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del tumbo serrano extraída por hidrólisis ácida es similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.

## IV. METODOLOGIA

### 4.1 Tipo de investigación.

- **Por su finalidad:**

La investigación que se ha realizado en el informe de la tesis es del tipo aplicada, ya que los resultados se aplicarían como fuente para obtener pectina comercial, debido a que sus características son similares a pesar de no alcanzar el suficiente rendimiento.

- **Por su diseño interpretativo:**

La investigación que se ha realizado en el informe de tesis es del tipo experimental, ya que se realizó mediante la observación, registro y análisis de los datos obtenidos durante el proceso de extracción y caracterización química de las pectinas.

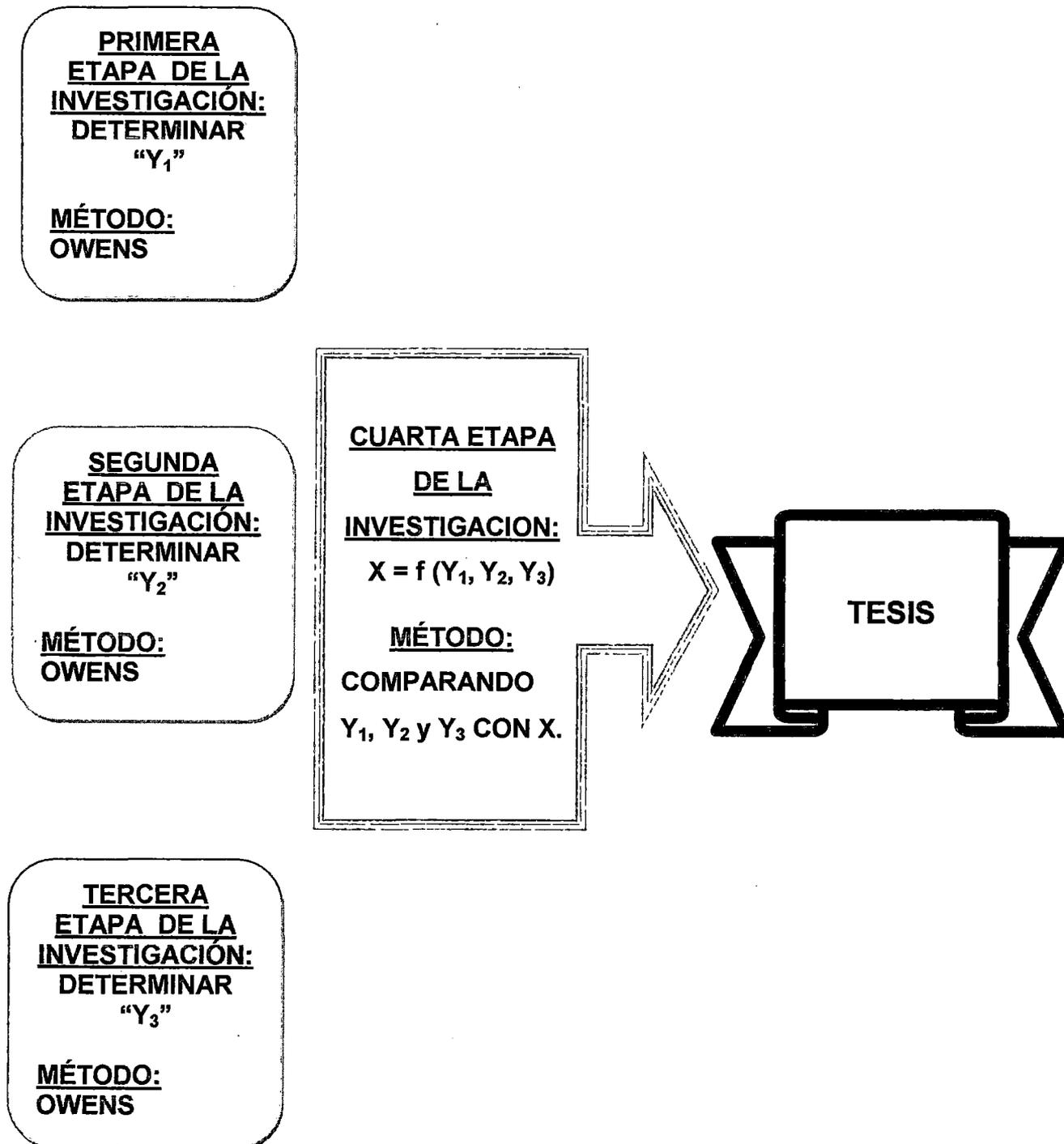
- **Por el énfasis en la naturaleza:**

La investigación que se ha realizado en el informe de tesis es del tipo cualitativa por los resultados del rendimiento y calidad de la pectina.

También es del tipo cuantitativa por los resultados de las características químicas de la pectina.

Por tanto, nuestro trabajo de investigación es del tipo mixto.

## 4.2 Diseño de la investigación.



### **4.3 Población y muestra**

Se compraron 10 kg de maracuyá amarillo, granadilla y tumbo en el Mercado Mayorista de Frutas, ubicada en la zona sur de Lima, y después de acondicionarlas se tomaron muestras de 100 gr parcialmente seca para cada tratamiento; ya que a menores valores se obtenía poca pectina la cual no fue suficiente para ser caracterizada químicamente ni tampoco se utilizó cantidades elevadas por un tema de costos.

### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

#### **4.4.1 Lugar de ejecución.**

El desarrollo de esta investigación fue realizado en el Laboratorio de Análisis Químico del Centro Experimental Tecnológico (CET), perteneciente a la Universidad Nacional del Callao.

#### **4.4.2 Materiales, reactivos y equipos.**

##### **a) Materia prima e insumos**

- Maracuyá amarillo
- Granadilla
- Tumbo serrano
- Pectina comercial "MONTANA"
- Agua potable

##### **b) Materiales**

- Baguetas.
- Bandejas de acero inoxidable.
- Bolsas de polietileno.
- Bombillas para pipetas.
- Buretas de 50 mL.
- Campana de desecación.
- Coladores de plásticos.

- Crisoles
- Cucharas.
- Cuchillos.
- Espátulas de acero inoxidable y mango de madera.
- Fiolas aforadas de 500 y 1000 mL.
- Matraces para titulación de 50, 100 y 250 mL.
- Ollas de acero inoxidable.
- Papel aluminio.
- Pinzas de acero inoxidable.
- Pipetas de 1, 5 y 10 mL.
- Placas petri.
- Probetas de 100 mL y 500 mL.
- Recipientes de plástico.
- Tela de punto blanqueada.
- Tela de tocuyo descrudada.
- Termómetro de mercurio.
- Vasos precipitados 250 mL, 600mL, 1 L y 2 L.

### **c) Reactivos**

- Ácido clorhídrico QP.
- Agua destilada
- Alcohol comercial de 70°.
- Alcohol comercial de 96°.
- Anaranjado de metilo al 0,5% en agua destilada (indicador).
- Biftalato de potasio en polvo QP.
- Carbonato de sodio en polvo QP.
- Fenolftaleína al 1% en solución de alcohol de 96° (indicador).
- Hidróxido de sodio en granallas QP.
- Rojo de fenol (indicador).

- Soluciones buffer de 4 y 7 para calibración del potenciómetro.

#### **d) Equipos**

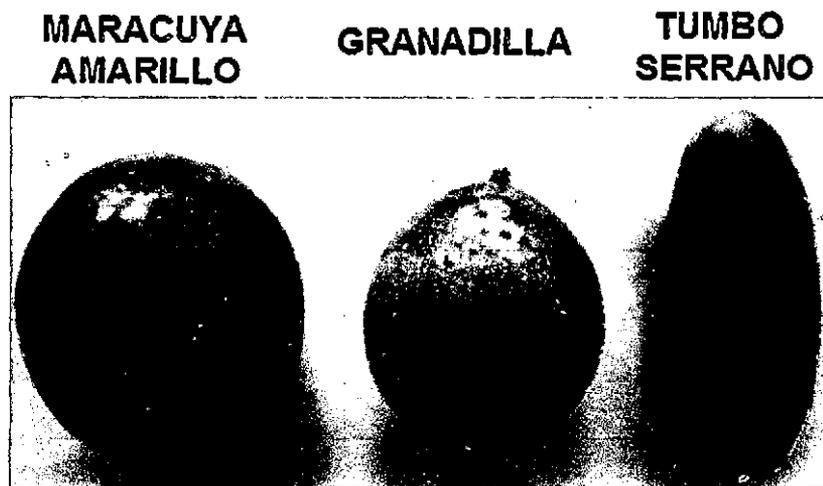
- Balanza analítica
- Balanza de humedad.
- Balanza digital
- Campana extractora.
- Cocinilla eléctrica.
- Destilador de agua.
- Estufa eléctrica
- Licuadora casera
- Molino de martillos
- Mufla eléctrica
- Potenciómetro
- Refractómetro digital

### **4.4.3 Método de experimentación.**

#### **A) Identificación de la materia prima**

Las materias primas utilizadas fueron las cáscaras (mesocarpio) del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis*, Var *Flavicarpa degener*), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y tumbo serrano (*Passiflora mollisima* H.B.K. Bailey), las cuales fueron compradas en el Mercado Mayorista de Frutas, ubicada en la zona sur de Lima. Se tomaron muestras de 10 kg de cada fruta y según el criterio práctico para la industrialización de los mismos, es decir en estado de semimaduro, sanos y sin partes golpeadas o daños generados por gusanos así como agujeros.

**FIGURA 4.1**  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**



**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

## **B) Caracterización de la materia prima**

La caracterización de la materia prima fue realizada sobre el albedo (humedad, cenizas, sólidos totales) y sobre la pulpa de la fruta obtenida después de un corte transversal manual, sin escaldar y filtrado rápido con gaza; con la finalidad de evitar interferencias de las semillas en la medición de los grados Brix y pH.

El zumo de la pulpa fue diluida como el método de la AOAC lo sugería para en el caso de la determinación de la acidez titulable.

Se determinó:

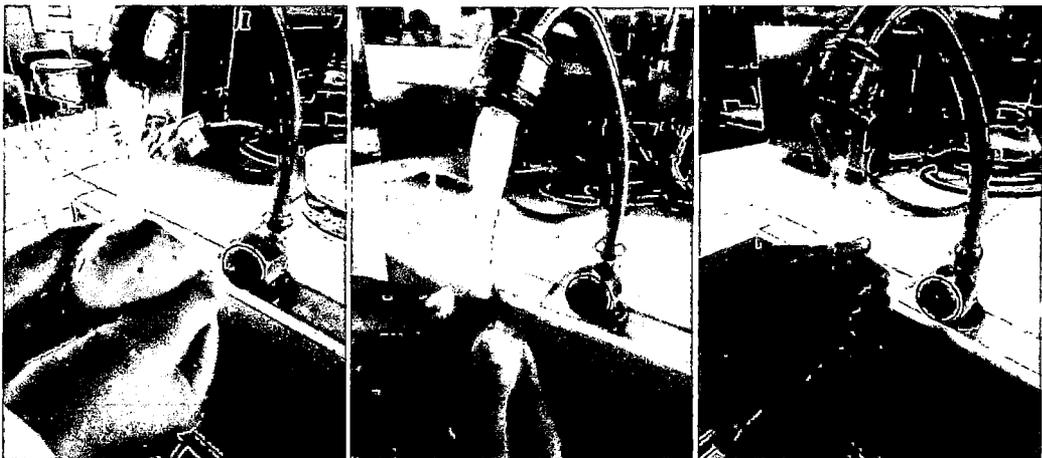
- ❖ **Constantes físicas:** Se pesó utilizando una balanza digital. Para la longitud y el diámetro medio, se empleó medición directa con una regla.
- ❖ **Rendimiento:** Se pesó cada parte de la fruta utilizando balanza digital y el cálculo se realizó mediante la división del peso de cada parte de la fruta con respecto al total de la misma.

- ❖ **Humedad:** Se utilizó estufa a 110°C hasta peso constante (Isique 1986: 100).
- ❖ **Sólidos totales:** Determinación por diferencia de 100 menos el porcentaje de humedad (Mondragón y Rodríguez, 2001; citado por Natividad, 2011: 52).
- ❖ **Ceniza:** Se utilizó mufla (Método AOAC, 1984: 22.027).
- ❖ **pH:** Se utilizó el método directo a 25°C empleando como instrumento un potenciómetro.
- ❖ **Sólidos solubles:** Se realizó lectura directa en grados Brix utilizando como instrumento un refractómetro digital.
- ❖ **Acidez titulable:** Se empleó el método de titulación con NaOH 0,1N y fenolftaleína como indicador (Método AOAC 1984: 22.058), expresado en ácido cítrico.

### C) Acondicionamiento de la materia prima

- i. **Lavado I:** Una vez recepcionado la materia prima en el laboratorio, se procedió a retirar las hojas y tallos que pudieran tener las frutas y luego se lavó con agua potable para remover así las impurezas.

**FIGURA 4.2**  
**LAVADO CON AGUA POTABLE**

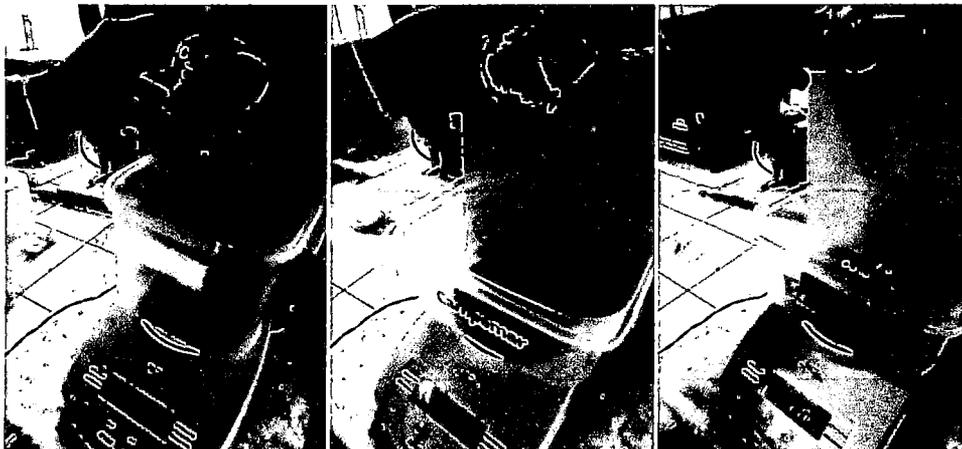


**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

- ii. **Despulpado:** Luego del lavado, se hizo un corte transversal con cuchillo a las frutas y con una cuchara se retiró la pulpa.

**FIGURA 4.3**

**PESADO DE LA PULPA EN BALANZA DIGITAL**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

Luego se procedió a retirar manualmente la zona interna que cubría la pulpa (endocarpio) ya que contiene gran cantidad de pigmentos carotenoides que pueden afectar el rendimiento y presentación de la pectina.

**FIGURA 4.4**

**RETIRADO DEL ENDOCARPIO**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- iii. **Descascarado:** Tras el despulpado se procedió a pelar con cuchillo la cáscara externa del fruto (epicarpio o flavedo) para sólo quedarnos con la parte blanca (mesocarpio o albedo). Finalmente se cortó el mesocarpio en trozos amorfos.

**FIGURA 4.5**  
**PELADO DE LA CÁSCARA**



**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

En esta parte del proceso se tuvo mucho cuidado ya que los mesocarpios de las frutas son diferentes en consistencia y espesor; mientras que el maracuyá amarillo presentó ser más consistente, la granadilla es más esponjosa y el tumbo es más delgado.

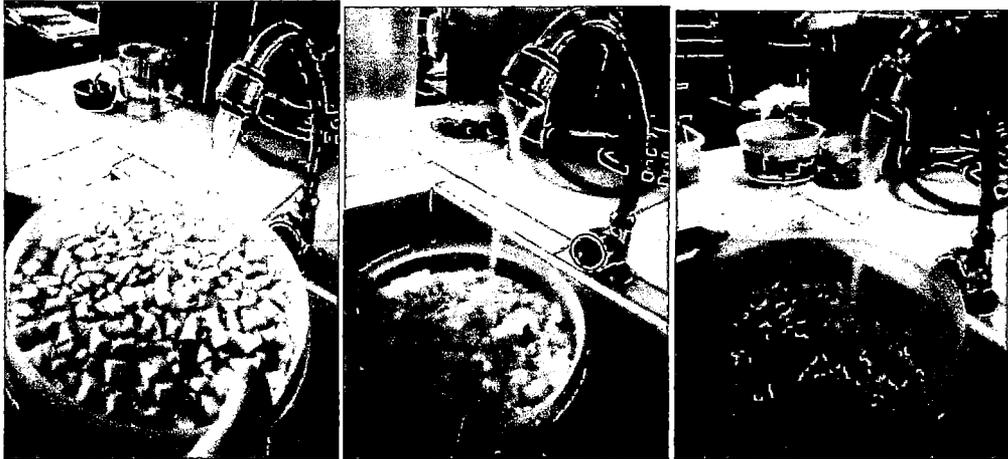
**FIGURA 4.6**  
**CORTADO DEL MESOCARPIO EN TROZOS**



**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

- iv. **Lavado II:** Se lavó con agua potable unas 3 veces a fin de eliminar restos de pulpa adheridos a la cáscara.

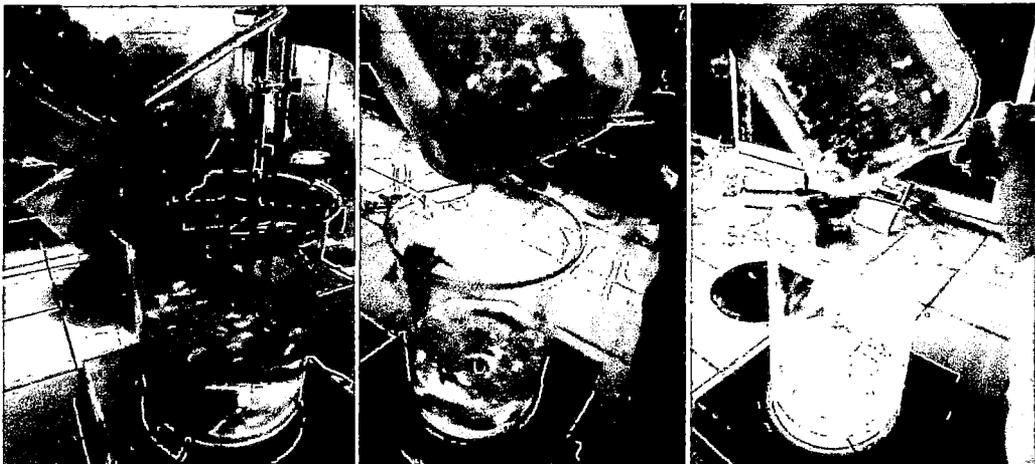
**FIGURA 4.7**  
**LAVADO REPETITIVO CON AGUA POTABLE**



**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

- v. **Escaldado:** También llamado blanqueado, se realizó con el propósito de hacer más eficiente el proceso de extracción. Se inactivaron las enzimas pécticas, usando la relación de un litro de agua por cada 300 g de cáscara cortada, luego se procedió a calentar esta mezcla a 95 - 98°C durante 5 minutos.

**FIGURA 4.8**  
**ESCALDADO DE LOS TROZOS CORTADOS Y LAVADOS**



**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

Las enzimas inactivadas fueron las pectinesterasas responsables de la hidrólisis de grupos éster metílicos que inducen la formación de metanol y por ende pectinas de menor metóxilo; así como, las poligalacturonasas que rompen los enlaces glucosídicos entre las moléculas poligalacturónicas, despolimerizando la cadena a fracciones más cortas hasta llegar al monómero del ácido poligalacturónico. Transcurrido este tiempo, se le enfrió rápidamente y se filtró en un colador a fin de retener los sólidos.

- vi. **Triturado:** Se trituró este material en una licuadora casera, con el propósito de aumentar el área superficial de contacto y facilitar así el proceso de extracción de la pectina. La relación que se tomó fue de 200 mL de agua destilada por cada 200 gramos de cáscara cortada en trozos.

**FIGURA 4.9**  
**LICUADO DE LA MUESTRA ESCALDADA**



**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

- vii. **Lavado II:** A la fase sólida triturada se le efectuó varias lavadas con agua destilada caliente a una temperatura de 60 °C por 3 a 4 veces hasta reducir el contenido de sólidos solubles hasta cero mediante determinación de grados Brix en un refractómetro digital.

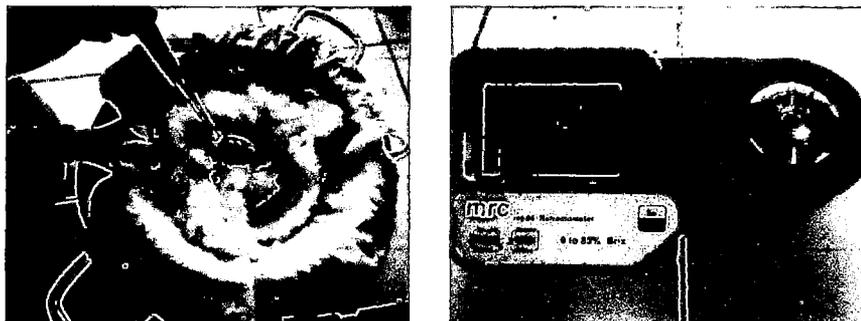
**FIGURA 4.10**  
**LAVADO CON AGUA DESTILADA**



**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

La solución heterogénea se prensa manualmente, extrayendo el exceso de agua presionando en una tela de tocuyo, reteniendo el sólido. Con este tratamiento se persigue eliminar los azúcares, principios amargos, materias colorantes, ácidos, sustancias pécticas y solubles y algún otro componente hidrosoluble. Para agilizar el proceso se usó una relación de dos litros de agua por cada kilogramo de la muestra sólida.

**FIGURA 4.11**  
**FILTRADO Y LECTURA DE LOS °BRIX**



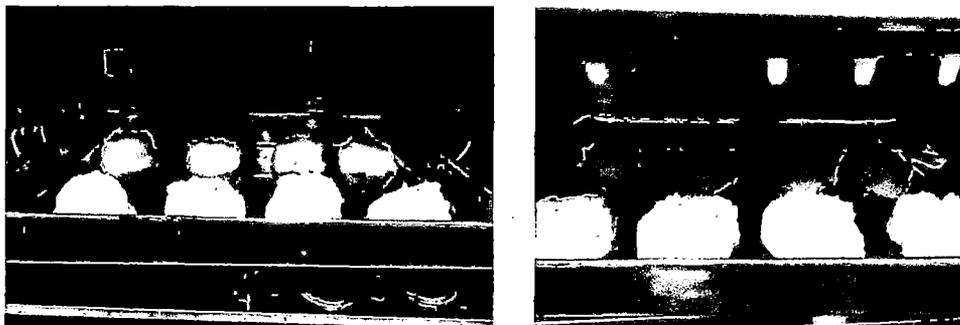


Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

- viii. **Secado:** Luego la muestra sólida con 0 °Brix se colocó en una bandeja y se secó a 50 °C en una estufa eléctrica por unas 8 – 12 horas, con el fin de reducir el peso de la muestra sólida y con ello la cantidad de agua acidulada en la hidrólisis. Esta parte del proceso puede ser alternativo, de ello dependerá el rendimiento del proceso.

FIGURA 4.12

**SECADO DE LA MUESTRA ACONDICIONADA EN ESTUFA**





Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

#### D) Procesamiento de la materia prima

- i. **Extracción:** A la muestra sólida parcialmente seca, se pesó y se calculó la cantidad de agua acidulada a utilizar en la hidrólisis ácida. La relación utilizada fue de 100 gramos de cáscara por cada 1200 mililitros de agua acidulada (1 : 12). Luego se agregó HCl 1N hasta ajustar el pH a 2 y 3. Posteriormente la solución acidulada se sometió a calentamiento a una temperatura de 80 y 95 °C, llegado a esa temperatura se agregó la cáscara parcialmente seca con agitación constante durante 60 y 90 minutos para evitar que el material sólido precipitara. Se trabajó en caliente para disociar la protopectina a pectina soluble.

FIGURA 4.13

#### HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA MUESTRA ACONDICIONADA



Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

- ii. **Filtrado:** Luego, con mucho cuidado la mezcla se filtró usando tela tocuyo, presionando suavemente para separar el material sólido del líquido, la fracción líquida se enfrió rápidamente por debajo de 25 °C sumergiéndola en agua previamente refrigerada para minimizar la degradación térmica de la pectina.

**FIGURA 4.14**  
**FILTRADO LUEGO DE LA HIDRÓLISIS**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- iii. **Precipitado:** Luego de unos minutos, a la solución péctica se le adicionó etanol de 96° ligeramente acidulado (a pH 3) en una cantidad del 80% del volumen de la solución péctica mediante agitación fuerte y constante, la mezcla se dejó reposar durante 60 minutos. La coagulación de la pectina se observó por la formación de un gel sobrenadante.

**FIGURA 4.15**  
**ADICIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO DE 96° ACIDULADO**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- iv. **Filtrado II:** La pectina sobrenadante se separó de la solución mediante filtración con tela de punto y presionando suavemente para separar la mayor cantidad de alcohol y así recoger el gel de la pectina.

**FIGURA 4.16**  
**OBTENCIÓN DE PECTINA EN GEL**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- v. **Lavados:** Consistió en purificar la pectina con 2 lavados sucesivos con alcohol de 70°. Mediante esta acción se logró eliminar colorantes y la mayoría de impurezas arrastradas desde la extracción las cuales constituyen materiales no urónico tales como los azúcares galactosa, arabinosa, ramnosa, xilosa, fucosa, etc. Además que la pectina tomó mayor consistencia y que en los filtrados se pudo separar mayor cantidad de alcohol. Asimismo ayudó a reducir el contenido de ceniza, el cual afecta la habilidad de la pectina de gelificarse.

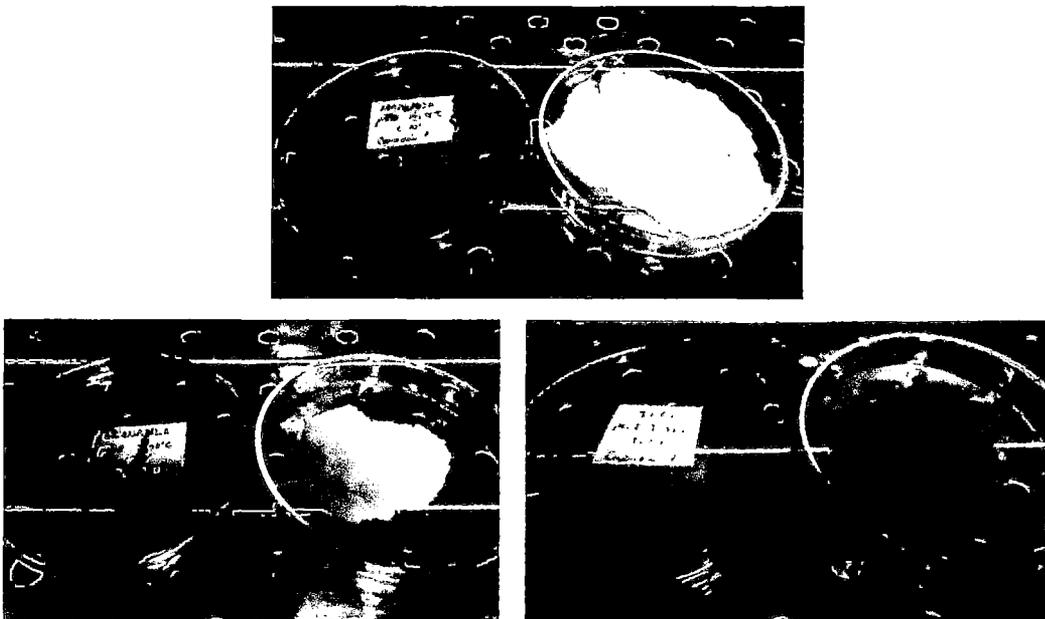
**FIGURA 4.17**  
**LAVADO CON ALCOHOL ETÍLICO DE 70°**



**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

- vi. **Secado:** Luego, la pectina se extendió en placas petri para su secado en estufa eléctrica a 50 °C, tomó un promedio de 12 horas, dependiendo de la cantidad de muestra.

**FIGURA 4.18**  
**SECADO EN ESTUFA DE LA PECTINA LAVADA**

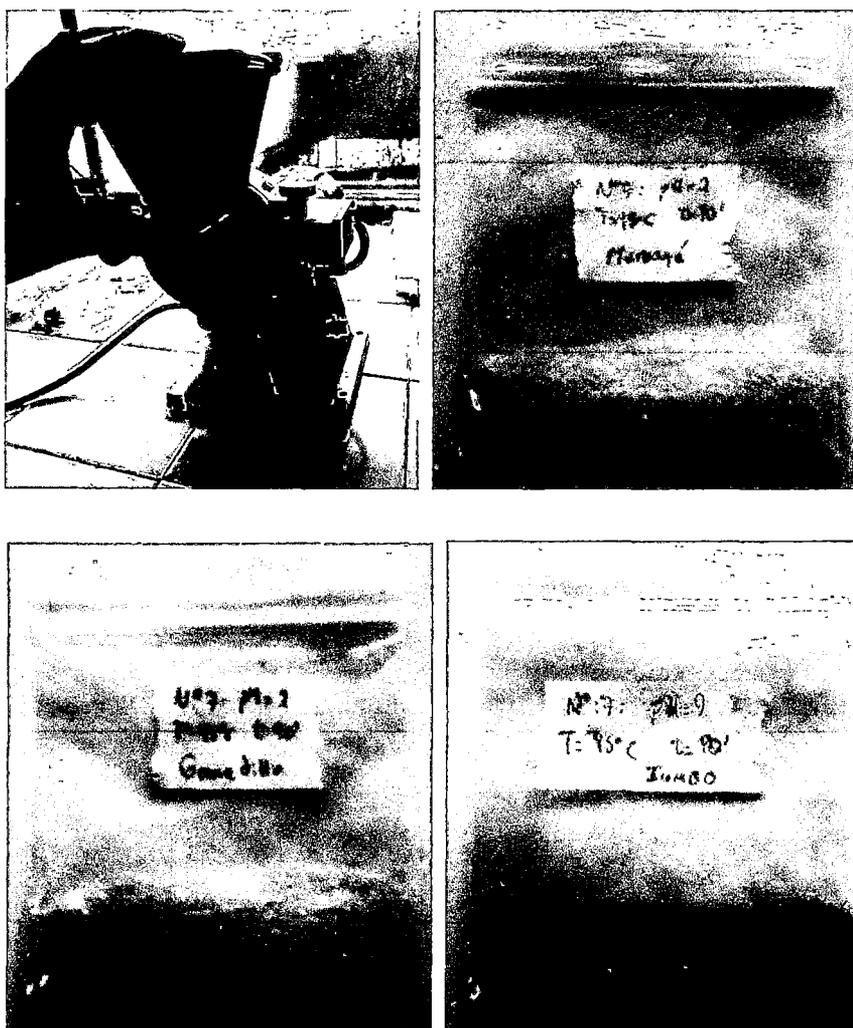


**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.**

- vii. **Molienda:** La pectina obtenida seca se pulverizó en un molino de martillos y se envasó en bolsas de polietileno para su almacenamiento en un lugar libre de humedad (campana desecadora). Esta operación tiene por finalidad reducir el tamaño de las partículas y permitir una mayor solubilidad.

**FIGURA 4.19**

**MOLIENDA Y ALMACENAMIENTOS DE LAS PECTINAS**

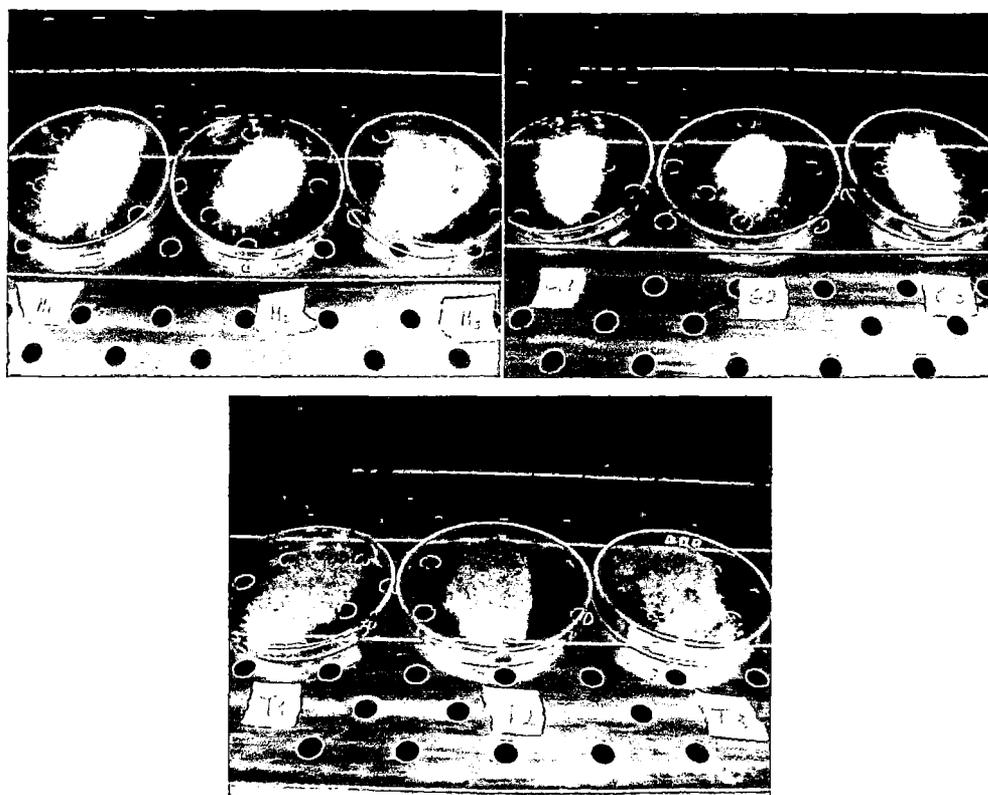


**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

## E) Caracterización química de la pectina

- i. **Humedad** (Owens, 1952): Se pesó 1 g de muestra y se secó a 70°C por 16 horas. Se añadió 1% al porcentaje de humedad observada para estar acorde con el método de Fisher.

**FIGURA 4.20**  
**DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LAS PECTINAS**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- ii. **Cenizas** (Owens, 1952): Se pesó 1g de muestra en crisol previamente pesado, y se calcinó por 4 horas a 600 °C en mufla eléctrica.

**FIGURA 4.21**  
**DETERMINACIÓN DE CENIZAS DE LAS PECTINAS**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- iii. **Alcalinidad de cenizas** (Owens, 1952): Las cenizas anteriores se disolvieron en 25 mL de HCl 0,1N. Se calentó hasta ebullición, se enfrió y tituló en presencia de fenolftaleína, con NaOH 0,1N.

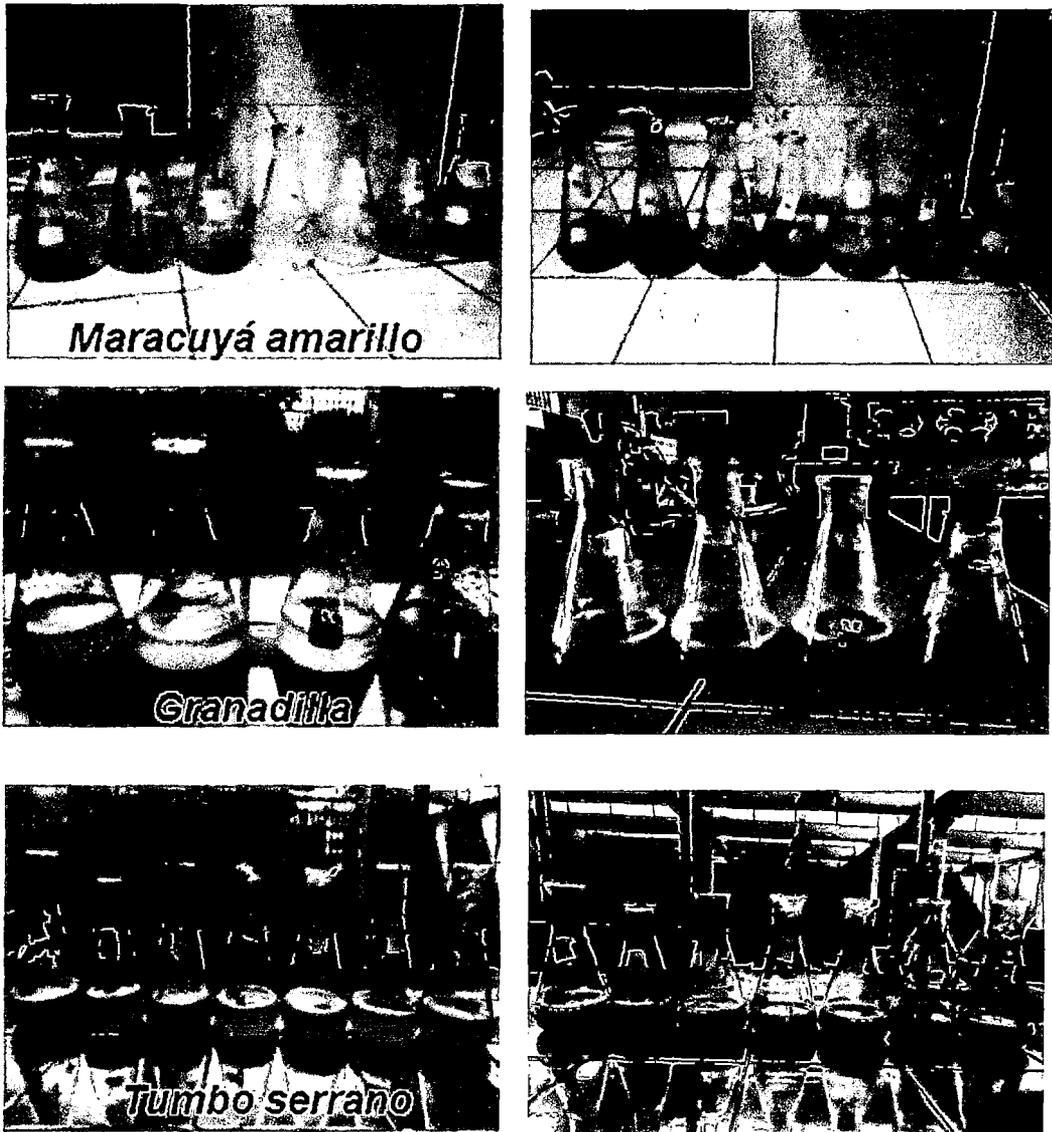
**FIGURA 4.22**  
**DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD DE CENIZAS**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- iv. **Peso equivalente (Owens, 1952):** Se determinó por titulación con NaOH a pH 7,5 usando como indicador el rojo de fenol o rojo de Hinton.

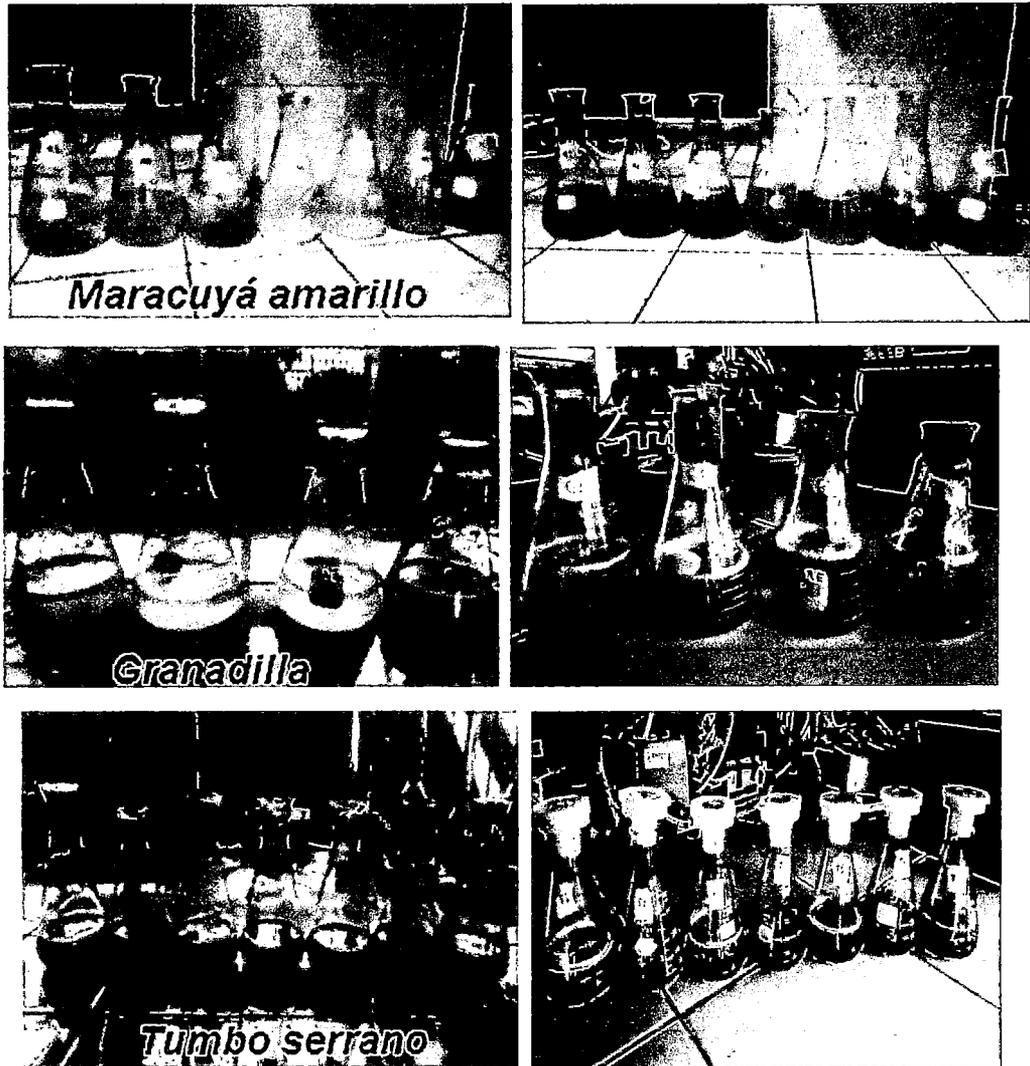
**FIGURA 4.23**  
**DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- v. **Contenido de metóxilo (Owens, 1952):** Se determinó saponificando la pectina y titulando el grupo carboxilo liberado, se calcula en %Me.

**FIGURA 4.24**  
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE METÓXILO**



**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

- vi. **Ácido galacturónico** (Owens, 1952): Se halló con los datos del peso equivalente, contenido de metóxilo, y alcalinidad de cenizas, se calcula en %AG.
- vii. **Grado de esterificación** (Doesburg, 1965): Se halló con los datos del ácido galacturónico (AG) y ME, se calcula en % GE.

## **4.5 Procedimientos de recolección de datos.**

**4.5.1 Fuente primaria:** Para la recolección de datos para el informe de la tesis, se realizaron las mediciones y los análisis respectivos en el Laboratorio de Análisis Químico del CET de la Universidad Nacional del Callao, tanto para el acondicionamiento de las frutas como para la extracción y caracterización de la pectina.

**4.5.2 Fuentes secundarias:** Se obtuvo información a partir de fuentes secundarias externas a través de artículos encontrados en bases de datos (Universia, Scielo, Redalyc, entre otras), y tesis revisadas en las bibliotecas de las universidades de UNI, UNMSM y UNALM, que contienen información relacionada y nos dan un amplio conocimiento con el tema de interés.

## **4.6 Procesamiento y análisis de datos.**

### **4.6.1 Pruebas preliminares.**

Las pruebas preliminares consistieron en pruebas necesarias con el fin de: conocer el proceso, interpretarlo, adaptarlo y/o modificarlo. Estas se realizaron para las tres frutas tanto para su acondicionamiento, extracción y caracterización de la pectina:

- A) Hidrólisis de las frutas acondicionadas con y sin epicarpio (cáscara):** Se comparó rendimientos de pectina obtenida trabajando el mesocarpio con y sin incluir el epicarpio; además así se visualizó si el color de la cáscara afecta en la presentación de la pectina.
- B) Hidrólisis con temperatura de 50°C y 95°C:** Se comparó rendimientos de pectina trabajando sólo con el mesocarpio, ya que nos interesó saber si había alguna diferencia hidrolizando a estas temperaturas.

- C) Hidrólisis agregando la muestra en frío y en caliente:** Se realizó esta prueba para ver si influía en el rendimiento el agregar la muestra acondicionada desde que inicia el calentamiento o a la temperatura de 95°C.
- D) Hidrólisis agregando la muestra acondicionada con y sin secado:** Esta prueba se realizó para confirmar si el rendimiento dependía de que la muestra acondicionada este completamente seca o no, previa a realizar la hidrólisis. Cabe señalar que la muestra completamente seca, fue posteriormente molida.
- E) Hidrólisis con el mesocarpio y el endocarpio de la fruta:** También se comparó rendimientos de pectina obtenida trabajando el mesocarpio con y sin endocarpio, además se vio si el endocarpio contiene pectina o no. Para este caso se partió de una misma cantidad inicial de muestra.
- F) Hidrólisis con diferentes relaciones cáscara - agua acidulada:** Se realizó esta prueba para saber cuánto de agua acidulada era necesaria por cada peso de cáscara acondicionada para obtener así el mejor rendimiento.
- G) Precipitación de pectina usando diferentes concentraciones de alcohol acidulado:** Esta prueba se realizó para observar cuanto de alcohol de 96° acidulado con ácido clorhídrico diluido (1 N) se debió agregar a la solución péctica para obtener el mayor rendimiento.
- H) Secado de la pectina a diferentes temperaturas (40 – 50 – 60°C):** Se observó que a diferentes temperaturas de secado de la pectina, se obtuvo diferentes rendimientos. Se partió de una muestra acondicionada (véase cuadro 5.12), al cual luego de la hidrólisis y los lavados, el gel de pectina obtenida se dividió en 3 partes iguales (véase cuadro 5.13).
- I) Caracterizaciones de la pectina comercial:** Se visualizó cual es el comportamiento de la pectina comercial al estar sujeta a las pruebas de caracterización química.

#### 4.6.2 Rendimiento óptimo de la extracción de la pectina.

Para la hidrólisis se trabajó bajo un diseño factorial de  $2^3$ , siendo las variables: el pH, temperatura y el tiempo. Teniendo un total de 8 tratamientos para cada fruta.

**CUADRO 4.1**

#### **VARIABLES DEL DISEÑO FACTORIAL PARA LA HIDRÓLISIS**

<b>VARIABLES</b>	<b>NIVEL 1</b>	<b>NIVEL 2</b>
<b>pH</b>	2	3
<b>Temperatura (°C)</b>	80	95
<b>Tiempo (minutos)</b>	60	90

**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis**

Para una verificación de los datos y seguridad en los resultados, se trabajó por triplicado para cada fruta, siendo por cada una 24 tratamientos. Todo esto se trabajó para encontrar el tratamiento por el cual se obtiene el mejor rendimiento en la extracción de la pectina.

#### 4.6.3 Características química de la pectina

Después del almacenamiento en el desecador. La caracterización química de la pectina seca y molida se basó en el Método Owens (1952) para dar la calidad y pureza de la pectina, siendo estas características (VER ANEXOS II - VIII).

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados parciales

#### I. Caracterización de la materia prima

Después de la recepción de las frutas, eliminando todo resto de tallo y tierra, se procedió a su caracterización según 4.2.2. Los resultados son reportados en un orden adecuado para su entendimiento, para luego ser comparados con los proporcionados en la bibliografía.

**CUADRO 5.1**  
**CONSTANTES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA**

Características	Maracuyá amarillo	Granadilla	Tumbo serrano
Peso (g)	174,25 ± 22,30	95,42 ± 21,00	91,00 ± 11,19
Longitud (cm)	8,62 ± 0,84	6,76 ± 0,46	9,73 ± 2,74
Diámetro (cm)	6,87 ± 0,40	7,95 ± 0,80	3,86 ± 0,17

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.2**  
**RENDIMIENTOS DE LA MATERIA PRIMA**

Características	Maracuyá amarillo	Granadilla	Tumbo serrano
Epicarpio (%)	7,37 ± 0,97	17,50 ± 0,95	7,17 ± 2,09
Mesocarpio (%)	41,58 ± 0,85	24,40 ± 1,34	29,79 ± 7,42
Endocarpio (%)	3,98 ± 0,22	4,51 ± 1,27	3,57 ± 1,55
Pulpa (%)	47,08 ± 0,45	53,59 ± 0,81	59,47 ± 6,52

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.3**  
**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA**

<b>Características</b>	<b>Maracuyá amarillo</b>	<b>Granadilla</b>	<b>Tumbo serrano</b>
<b>Humedad (%)</b>	85,59 ± 0,32	88,72 ± 0,35	88,86 ± 0,07
<b>Sólidos totales (%)</b>	14,41	11,28	11,14
<b>Cenizas (%)</b>	0,82 ± 0,22	1,73 ± 0,26	0,92 ± 0,41
<b>pH a 25°C</b>	2,76 ± 0,04	4,72 ± 0,02	3,21 ± 0,07
<b>Sólidos solubles (°Brix)</b>	17,10 ± 1,14	13,50 ± 0,06	8,60 ± 0,78
<b>Acidez titulable (%peso)</b>	4,12 ± 0,01	0,38 ± 0,00	1,93 ± 0,02

**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis

## II. Pruebas preliminares

Para todas las pruebas preliminares se trabajaron bajo las siguientes condiciones de extracción:

**CUADRO 5.4**  
**CONDICIONES PARA LAS PRUEBAS PRELIMINARES**

<b>pH</b>	2
<b>T (°C)</b>	95
<b>t (min)</b>	60

**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis

**A) Hidrólisis de las frutas acondicionadas con y sin epicarpio (cáscara).**

**CUADRO 5.5: DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR A**

Etapas	Datos	Maracuyá		Granadilla		Tumbo	
		Con cáscara	Sin cáscara	Con cáscara	Sin cáscara	Con cáscara	Sin cáscara
Hidrólisis	W cascara (g)	120	117	80	72	58,7	43,1
	V agua acidulada (mL)	1440	1404	960	864	704,4	517,2
Filtrado I	W bagazo (g)	33,1	28,3	46	23,3	13	4,3
	V solución péctica (mL)	1115	1050	565	430	435	315
Precipitación	V alcohol 96° (mL)	892	840	452	344	348	252
Filtrado II	W gel (g)	22,6	27	26,5	16,8	21,2	13,3
	V alcohol filtrado (mL)	253	1645	855	705	675	515
Lavado I	V alcohol (mL)	67,8	80,9	79,5	50,4	63,7	39,9
	W gel (g)	18,3	18,5	7,4	7	8,4	3,2
	V alcohol filtrado (mL)	65	80	81	55	68	46
Secado	T secado (°C)	50		50		50	
	W pectina (g)	1,1872	1,4864	0,4727	0,6174	0,4349	0,4403
Rendimiento	Pectina / cáscara (%)	0,9893	1,2704	0,5909	0,8575	0,7409	1,0216

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

B) Hidrólisis con temperatura de 50°C y 95°C.

CUADRO 5.6  
DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR B

Prueba / Proceso		Baja	Alta
Hidrólisis	W cáscara (g)	35	
	T (°C)	50	95
	V HCl (mL)	7	
Filtrado I	W bagazo (g)	37,8	14,1
	V solución péctica (mL)	510	305
Precipitación	V alcohol 96°	408	244
Filtrado II	W gel (g)	45	55,5
	V alcohol filtrado (mL)	780	455
Lavado I	V alcohol (mL)	500	244
	W gel (g)	10	16,9
	V alcohol filtrado (mL)	525	270
Lavado II	V alcohol (mL)	500	244
	W gel (g)	7,8	12
	V alcohol filtrado	495	245
Secado	T secado (°C)	50	
	W pectina (g)	0,2144	0,4905
Rendimiento	Pectina /cáscara (%)	0,613	1,4014

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

C) Hidrólisis agregando la muestra en frío y en caliente.

**CUADRO 5.7**  
**DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR C**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>En caliente</b>	<b>En frío</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W cáscara (g)</b>	72	72
	<b>V agua acidulada (mL)</b>	864	864
<b>Filtrado I</b>	<b>W bagazo (g)</b>	23,3	23,2
	<b>V solución péctica (mL)</b>	430	380
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	344	304
<b>Filtrado II</b>	<b>W gel (g)</b>	16,8	14,2
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	705	627
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	50,4	42,5
	<b>W gel (g)</b>	7	5,8
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	55	44
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50	
	<b>W pectina (g)</b>	0,6174	0,5303
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina / cáscara (%)</b>	0,8575	0,7365

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

D) Hidrólisis agregando la muestra acondicionada con y sin secado.

**CUADRO 5.8**  
**DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR D**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Con secado</b>	<b>Sin secado</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W cáscara (g)</b>	45,8	127
	<b>V agua acidulada (mL)</b>	549,6	1524
<b>Filtrado I</b>	<b>W bagazo (g)</b>	23,2	18,9
	<b>V solución péctica (mL)</b>	250	1085
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	200	868
<b>Filtrado II</b>	<b>W gel (g)</b>	22,6	21,9
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	402	1755
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	67,7	65,8
	<b>W gel (g)</b>	17,3	16,6
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	65	63
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50	
	<b>W pectina (g)</b>	1,2909	1,2317
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina / cáscara (%)</b>	2,8186	0,9698

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

E) Hidrólisis con el mesocarpio y el endocarpio de la fruta.

**CUADRO 5.9**  
**DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR E**

PROCESO		Endocarpio	Mesocarpio y endocarpio	Mesocarpio
Hidrólisis	W cáscara (g)	30,4	51,7	37,4
	V agua acidulada (mL)	486	827,2	600
Filtrado I	W bagazo (g)	28,5	21,3	20,5
	V solución péctica (mL)	275	465	370
Precipitado	V alcohol 96° (mL)	220	372	296
Filtrado II	V alcohol (mL)	405	685	574
Secado	W pectina (g)	0,3507	0,7619	0,6128
Rendimiento	Pectina seca/ cáscara (%)	1,154	1,474	1,639

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

F) Hidrólisis con diferentes relaciones de cáscara : agua acidulada

**CUADRO 5.10**  
**DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR F**

Relaciones de baño	R = 1/3	R = 1/5	R = 1/8	R = 1/10	R = 1/12	R = 1/16
W inicial (g)	50	50	50	50	50	50
Prueba (g/mL)	50/150	50/250	50/400	50/500	50/600	50/800
V sol péctica (mL)	56	75	140	165	265	470
W bagazo (g)	25,5	48,1	26,9	32,2	27,7	21,2
V alcohol 96° (mL)	44,8	60	112	132	212	376
V alcohol filtrado(mL)	80	115	220	265	435	795
W gel (g)	5,9979	8,0198	8,8512	10,8899	10,6477	9,2478
W pectina seca (g)	0,3336	0,4075	0,5774	0,6501	0,7556	0,6314
Rendimiento (%)	0,6672	0,8150	1,1548	1,3002	1,5112	1,2628

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**G) Precipitación de pectina usando diferentes concentraciones de alcohol acidulado.**

**CUADRO 5.11  
OBSERVACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN CON ALCOHOL ACIDULADO  
A PH 3**

<b>Solución péctica (mL)</b>	<b>Alcohol (%)</b>	<b>Alcohol acidulado (mL)</b>	<b>Precipitación Observada</b>
40	50	20	Formación de un gel débil: Se vio una capa de burbujas delgada y pocos grumos.
40	60	24	Formación de un gel débil: Se vio una capa de burbujas delgada y grumos separados.
40	70	28	Formación de un gel poco consistente: Se vio una capa de burbujas delgada y grumos más formados.
40	80	32	Formación de mayor cantidad de gel consistente: Se vio una capa de burbujas gruesas y los grumos estuvieron más juntos y concentrados.

**Fuente: Elaborado por los autores de la tesis**

H) Secado de la pectina a diferentes temperaturas (40 – 50 – 60°C)

CUADRO 5.12

DATOS DE LA PRUEBA PRELIMINAR H

PROCESO		CANTIDAD
Hidrólisis	W muestra (g)	44,5
	V agua acidulada (mL)	712
Filtrado II	W bagazo (g)	386,8
	V sol péctica (mL)	150
Precipitación	V alcohol 96° (mL)	120
Filtrado III	V alcohol filtrado (mL)	215
	W gel (g)	36,8
Lavado I	V inicial (mL)	110,4
	V final (mL)	115
	W gel (g)	22,7
Lavado II	V inicial (mL)	68,1
	V final (mL)	70
	W gel (g)	20,1

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

A partir de este resultado (20,1 g. de gel de pectina) se dividió en 3 partes iguales para su posterior secado a diferentes temperaturas.

CUADRO 5.13

RENDIMIENTO A DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECADO

PROCESO		CANTIDAD		
Secado	T secado (°C)	40	50	60
	W gel (g)	6,7	6,7	6,7
	t secado (horas)	5	3,5	3
	W pectina seca	0,5169	0,5521	0,4913
Rendimiento	pectina seca/cascara seca	1,1616	1,2407	1,1040

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

I) Caracterizaciones de la pectina comercial (Según Owens, 1952)

1) Humedad

**CUADRO 5.14**  
**DATOS DE LA HUMEDAD**

Datos	I	II	III
Placa (g)	43,2388	41,0855	41,6027
Placa + pectina húmeda (g)	44,2518	42,1022	42,6116
Peso pectina húmeda (g)	1,013	1,0167	1,0089
<b>Después de 70°C x 16 horas</b>			
Placa + pectina seca (g)	44,1783	42,0267	42,5389
Peso pectina seca (g)	0,9395	0,9412	0,9362
%Humedad (BH)	8,2557	8,4260	8,2059
%Humedad + 1% (Fisher)	9,2557	9,4260	9,2059

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

2) Cenizas

**CUADRO 5.15**  
**DATOS PARA LA CANTIDAD DE CENIZAS**

Datos	I	II	III
Crisol (g)	10,1022	10,6251	9,2605
Pectina (g)	1,0034	1,0081	1,013
<b>Después de 600 °C x 4 horas</b>			
Cenizas+ crisol (g)	10,1203	10,643	9,2786
ceniza (g)	0,0181	0,0179	0,0181
%ceniza	1,8039	1,7756	1,7868

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

### 3) Alcalinidad de cenizas

**CUADRO 5.16**  
**DATOS PARA LA ALCALINIDAD DE CENIZAS**

Datos	I	II	III
V blanco experimental NaOH (mL)	26,9		
V. titulación NaOH (mL)	23,5	23,5	23,5
V. título NaOH (mL)	3,40	3,40	3,40
Normalidad NaOH	0,1		
Factor de corrección	0,925		
%alcalinidad	1,74	1,76	1,74

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

### 4) Peso equivalente

**CUADRO 5.17**  
**DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PESO EQUIVALENTE**

Datos	I	II	III
Peso pectina (g)	0,5026	0,5061	0,5095
V. titulación NaOH (mL)	3,9	3,9	3,9
Normalidad NaOH	0,1		
Factor de corrección	0,822		
Peso Equivalente	1567,7834	1578,7011	1589,3069

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

### 5) Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación

**CUADRO 5.18**  
**DATOS DEL %ME, %AG Y %GE**

Datos	I	II	III
V. titulación NaOH (mL)	13,3	13,3	13,3
% Metóxilo	8,2033	8,1466	8,0922
% AUA	60,1601	59,7440	58,4935
% DE	77,4165	77,4165	78,5439

**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis

## 5.2. Resultados finales

### I. Parámetros de operación

Para encontrar el mejor rendimiento en la extracción de pectina, se sabe que se debe a los parámetros de operación de la hidrólisis (parte importante del proceso). Pero también se debe tomar en cuenta el buen acondicionamiento de la cáscara de la fruta passiflora.

Se trabajó un diseño factorial de  $2^3$  siendo las variables el pH, temperatura y tiempo de extracción. Siendo el diseño factorial el cuadro 5.19.

Se realizó bajo tres repeticiones y para cada fruto, siendo en total 72 tratamientos. A continuación se muestra un cuadro con los balances de materia desde la hidrólisis hasta la molienda de la pectina, ya que nuestro parámetro de respuesta es el rendimiento de la pectina seca.

**CUADRO 5.19**  
**DATOS DEL DISEÑO FACTORIAL**

<b>Tratamientos</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>
<b>Prueba 1</b>	2	80	60
<b>Prueba 2</b>	3	80	60
<b>Prueba 3</b>	2	95	60
<b>Prueba 4</b>	3	95	60
<b>Prueba 5</b>	2	80	90
<b>Prueba 6</b>	3	80	90
<b>Prueba 7</b>	2	95	90
<b>Prueba 8</b>	3	95	90

**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.20: MARACUYÁ AMARILLO - PRIMERA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	77,4	107,9	45,4	61,9	49,9	103,6	35,2	74,3
	<b>V solución péctica (mL)</b>	994	938	885	767	993	893	840	713
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	795	750	708	615	795	712,5	672	570
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	56,8	47,4	74,9	112,3	104,9	55,1	75	80
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1590	1403	1305	1065	1448	713	1313	1035
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	171	143	225	337	315	166	225	240
	<b>W gel (g)</b>	22,7	13,2	28,5	19	30	12,6	28,3	24,5
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	185	155	250	390	380	195	255	280
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	68	40	90	57	90	38	85	74
	<b>W gel (g)</b>	19,7	9,6	24,1	4	11,3	9,5	23,9	12,1
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	58	33	80	50	82	49	105	83
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50							
	<b>tiempo secado (h)</b>	18			5	18	5	18	
	<b>W pectina (g)</b>	1,0325	0,5375	1,2948	0,7277	1,065	0,5283	1,3860	0,7960
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molida (g)</b>	0,9681	0,4980	1,2544	0,7529	1,0718	0,5358	1,3748	0,7642
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	0,9681	0,4980	1,2544	0,7529	1,0718	0,5358	1,3748	0,7642

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.21: MARACUYÁ AMARILLO - SEGUNDA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	70	256,2	53,4	163,7	55,7	94,1	55,8	63,4
	<b>V solución péctica (mL)</b>	1024	735	893	859	915	859	698	680
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	818	585	713	686	731	686	555	544
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	104,3	68,6	109,3	84,5	113,0	65,1	95,0	120,5
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1650	1084	1433	1249	1448	1290	1074	994
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	313	375	328	432	339	195	285	362
	<b>W gel (g)</b>	22,5	14,9	33,3	21	37,4	8,9	43,6	29,1
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	335	435	355	510	375	217	300	410
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	68	45	100	63	112	27	131	87
	<b>W gel (g)</b>	18,9	10,9	27,2	13,4	23	7,3	39,1	15,6
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	56	39	90	59	110	18	111	76
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50							
	<b>tiempo secado (h)</b>	13							
	<b>W pectina (g)</b>	0,9674	0,7268	1,7676	0,7457	1,4277	0,3283	2,1456	0,6745
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molida (g)</b>	0,8867	0,69	1,717	0,7167	1,2821	0,5176	1,8707	0,5937
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	0,8867	0,6900	1,7170	0,7167	1,2821	0,5176	1,8707	0,5937

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

**CUADRO 5.22: MARACUYÁ AMARILLO - TERCERA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	79,9	98,2	34,7	116,9	92	142,7	39	87,7
	<b>V solución péctica (mL)</b>	1013	975	855	836	934	900	750	645
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	810	780	684	669	747	720	600	516
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	104,0	54,0	137,3	116,9	140,6	75,4	178,1	114,1
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1601	1583	1320	1286	1459	1429	1125	986
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	312	162	412	351	422	226	534	342
	<b>W gel (g)</b>	28,7	10,2	29,9	36,4	34,3	14,6	28,2	23
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	360	188	475	393	496	264	634	405
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	86	31	90	109	103	44	85	69
	<b>W gel (g)</b>	18,1	6,6	24,2	18,2	23,8	11,3	21,9	9,2
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	83	26	78	110	9,8	34	77	64
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50							
	<b>tiempo secado (h)</b>	12							
	<b>W pectina (g)</b>	0,9126	0,3726	1,281	0,6923	1,3165	0,4954	1,5071	0,7375
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molida (g)</b>	0,9121	0,3872	1,2389	0,6289	1,3104	0,4774	1,4140	0,818
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	0,9121	0,3872	1,2389	0,6289	1,3104	0,4774	1,4140	0,8180

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.23: GRANADILLA - PRIMERA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	78,8	76,9	55	76,7	67,4	76,8	59,6	76,9
	<b>V solución péctica (mL)</b>	985	925	760	700	930	840	549	528
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	788	740	608	560	744	672	439	422
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	81,0	5,6	129,1	33,8	83,8	13,0	108,8	41,8
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1590	1480	1170	1170	1510	1400	760	835
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	243	17	387	102	251	39	326	125
	<b>W gel (g)</b>	36,6	2	34,7	5,9	30,8	0,7	41,6	7,6
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	272	25	470	115	284	44	390	126
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	110	6	104	18	92	2	125	23
	<b>W gel (g)</b>	17,9	0,6	26,2	3	21,5	0,1	33	6,9
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	115	2	99	7	87	2	126	11
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	55 °C							
	<b>tiempo secado (h)</b>	24	3	24	3	24	3	24	5
	<b>W pectina (g)</b>	0,7453	0,0305	1,0798	0,1017	0,7551	0,0039	1,2491	0,1754
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molido (g)</b>	0,7432	-	1,0664	-	0,7434	-	1,2388	-
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	0,7432	0,0305	1,0664	0,1017	0,7434	0,0039	1,2388	0,1754

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.24: GRANADILLA - SEGUNDA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	51,6	77,4	40,6	101,7	45,4	73,9	31,4	73,1
	<b>V solución péctica (mL)</b>	1028	965	750	680	1005	875	600	584
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	822,4	772	600	544	804	700	480	467,2
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	16	-	32,2	12,6	34,7	0,5	30,7	30,9
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1705	1705	1250	1145	1670	1510	990	950
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	48,17	-	96,6	37,7	104	-	92,1	92,6
	<b>W gel (g)</b>	8,1	-	13,8	3,5	11,4	-	17,8	3,9
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	49	-	112	36	124	-	98	118
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	24,37	-	41,4	10,4	34,1	-	53,4	11,6
	<b>W gel (g)</b>	7,8	-	13,3	2,1	11,5	-	16,7	2,8
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	18	-	33	14	31	-	48	14
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50							
	<b>tiempo secado (h)</b>	14							
	<b>W pectina (g)</b>	0,7207	-	1,2054	0,1647	0,7518	0,0024	1,3631	0,2533
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molida (g)</b>	0,6819	-	1,1878	-	0,7218	-	1,3315	0,2504
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	0,6819	-	1,1878	0,1647	0,7218	0,0024	1,3315	0,2504

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.25: GRANADILLA - TERCERA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	51,2	102,4	48,7	102,5	47,7	117,5	51,8	87,5
	<b>V solución péctica (mL)</b>	1065	925	765	755	985	815	680	545
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	852	740	612	604	788	652	544	436
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	17,7	7,1	30,1	19,2	42,7	10	29	16,2
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1750	1560	1230	1270	1605	1245	1110	915
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	53	21,3	90,3	57,6	128	30	87,1	48,5
	<b>W gel (g)</b>	10,6	0,7	19,3	5,2	19,8	2,5	25,5	4,5
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	62	28	132	68	132	25	86	68
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	31,72	2,12	57,91	15,61	59,26	7,48	76,6	13,41
	<b>W gel (g)</b>	10,7	2,1	18,2	2,8	14,8	0,4	19,2	4,5
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	20	26	51	18	53	11	78	14
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50							
	<b>tiempo secado (h)</b>	17	14	17	14	17	14	17	14
	<b>W pectina (g)</b>	0,6919	0,0228	1,3198	0,1236	0,8881	0,0102	1,3813	0,2486
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molida (g)</b>	0,6328	-	1,3144	-	0,8776	-	1,3763	0,2446
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	0,6328	0,0228	1,3144	0,1236	0,8776	0,0102	1,3763	0,2446

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.26: TUMBO - PRIMERA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	26,5	51,3	36,5	68,3	29,2	53	26,1	40,3
	<b>V solución péctica (mL)</b>	1075	995	845	830	995	885	620	605
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	860	796	676	664	796	708	496	484
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	29,3	32,6	54,5	61,3	44,6	38,1	34,5	63
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1815	1675	1405	1345	1635	1460	1025	950
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	87,9	97,8	163,6	183,9	133,8	114,3	103,5	188,9
	<b>W gel (g)</b>	15,5	10	20	15,4	15	10	16,2	17
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	90	113	155	187	149	130	109	203
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	46,5	28,5	59,5	46,2	44,7	29,4	48,6	50,9
	<b>W gel (g)</b>	12,9	7,9	14,5	11,7	14,7	8,8	13,6	16
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	31	24	56	33	39	25	43	46
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50							
	<b>tiempo secado (h)</b>	7	6	7	8	8	6	8	7
	<b>W pectina (g)</b>	1,0572	0,4221	1,1705	0,8105	1,0569	0,6117	1,2388	0,9974
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molida (g)</b>	1,0439	0,4128	1,1597	0,8013	1,0223	0,6015	1,1281	0,9676
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	1,0439	0,4128	1,1597	0,8013	1,0223	0,6015	1,1281	0,9676

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.27: TUMBO - SEGUNDA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	34	69,6	17,2	72	23,6	49,6	20,9	42,3
	<b>V solución péctica (mL)</b>	1010	910	685	650	1020	830	740	575
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	808	728	548	520	816	664	592	460
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	67,4	32	40	78,5	44,5	49,4	29,7	62,1
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1660	1485	1140	1015	1690	1360	1235	855
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	202,3	96	119,8	235,4	133,5	148,3	89,1	186,3
	<b>W gel (g)</b>	15,2	11,4	14,3	18,3	17	12,8	19,6	13,6
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	243	100	139	277	149	164	92	228
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	45,7	34,2	43	54,8	51	38,5	58,8	40,8
	<b>W gel (g)</b>	14,7	7,7	13,2	10	15,2	7,5	14	6,9
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	31	35	41	59	44	43	57	44
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50							
	<b>tiempo secado (h)</b>	12							
	<b>W pectina (g)</b>	1,0083	0,4292	0,9971	0,743	0,9168	0,7089	1,1706	0,8945
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molida (g)</b>	0,9973	0,4178	0,9953	0,7122	0,8958	0,6706	1,1701	0,8884
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	0,9973	0,4178	0,9953	0,7122	0,8958	0,6706	1,1701	0,8884

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.28: TUMBO - TERCERA REPETICIÓN**

<b>Etapas</b>	<b>Datos</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Hidrólisis</b>	<b>W inicial (g)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>V agua acidulada</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Filtrado II</b>	<b>W bagazo (g)</b>	31,3	70,2	22,6	66,6	32	42,8	30	63,8
	<b>V solución péctica (mL)</b>	1065	945	330	780	975	840	615	590
<b>Precipitación</b>	<b>V alcohol 96° (mL)</b>	852	756	264	624	780	672	492	472
<b>Filtrado III</b>	<b>W gel (g)</b>	61,9	50,3	26,5	82,5	51,8	53,7	42,1	55
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	1750	1500	1015	1200	1595	1330	1000	920
<b>Lavado I</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	185,7	150,9	79,5	247,5	155,5	161,1	126,3	164,9
	<b>W gel (g)</b>	19,9	13,9	14,4	11,1	19,4	10,7	18,3	13,4
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	213	179	85	295	173	191	141	192
<b>Lavado II</b>	<b>V alcohol (mL)</b>	59,7	41,7	43,2	33,3	58,3	32,1	54,9	40,1
	<b>W gel (g)</b>	16,8	11,8	12,1	10,1	17,6	8	16,6	12,3
	<b>V alcohol filtrado (mL)</b>	51	36	44	28	54	31	50	33
<b>Secado</b>	<b>T secado (°C)</b>	50							
	<b>tiempo secado (h)</b>	8	8	8	9	8	8	8	8
	<b>W pectina (g)</b>	1,1358	0,6473	1,0671	0,8921	1,3074	0,726	1,3452	1,0619
<b>Molienda</b>	<b>W pectina molida (g)</b>	1,0972	0,6228	1,0155	0,8763	1,1899	0,7085	1,3084	1,0414
<b>Rendimiento</b>	<b>Pectina /cáscara (%)</b>	1,0972	0,6228	1,0155	0,8763	1,1899	0,7085	1,3084	1,0414

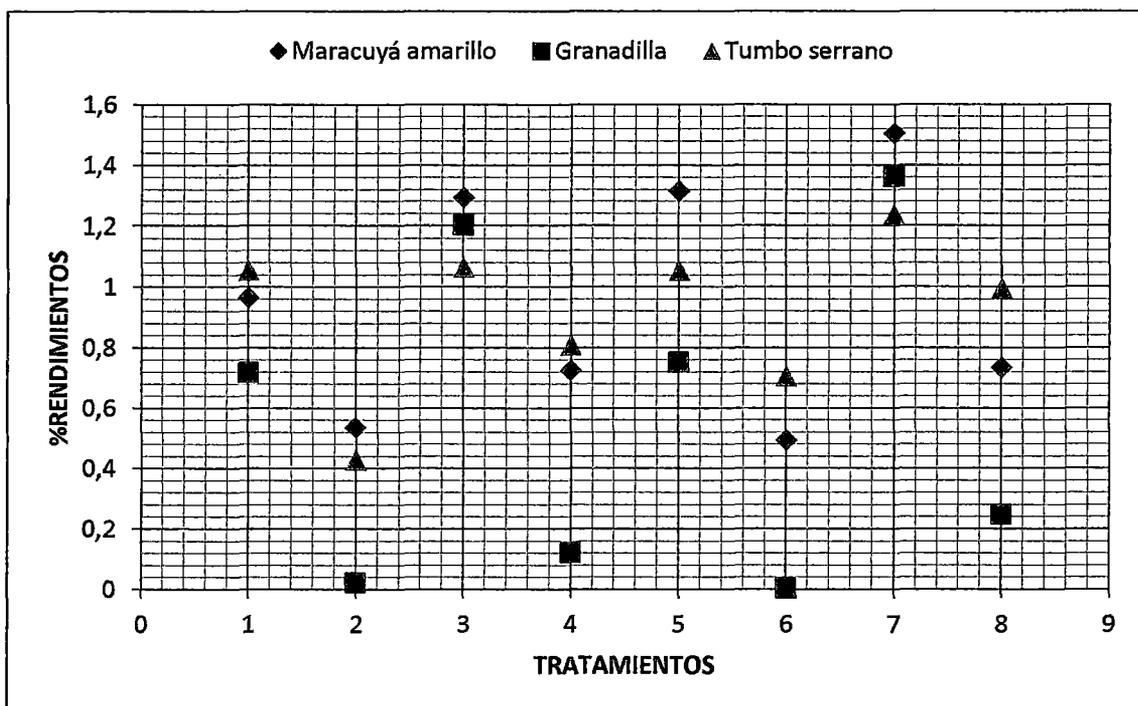
Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.29:  
RESUMEN DE LOS RENDIMIENTOS POR CADA FRUTA**

Tratamientos	Maracuyá amarillo	Granadilla	Tumbo serrano
Prueba 1	0,9674 ± 0,0600	0,7207 ± 0,0267	1,0572 ± 0,0643
Prueba 2	0,5375 ± 0,1772	0,0228 ± 0,0159	0,4292 ± 0,1280
Prueba 3	1,2948 ± 0,2770	1,2054 ± 0,1200	1,0671 ± 0,0872
Prueba 4	0,7277 ± 0,0272	0,1236 ± 0,0320	0,8105 ± 0,0747
Prueba 5	1,3165 ± 0,1858	0,7551 ± 0,0778	1,0569 ± 0,1979
Prueba 6	0,4954 ± 0,1072	0,0039 ± 0,0041	0,7089 ± 0,0617
Prueba 7	1,5071 ± 0,4081	1,3631 ± 0,0717	1,2388 ± 0,0880
Prueba 8	0,7375 ± 0,0608	0,2486 ± 0,0437	0,9974 ± 0,0844

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**GRÁFICA 5.1:  
RESUMEN DE LOS RENDIMIENTOS POR CADA FRUTA**



Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

## II. Caracterización de las pectinas

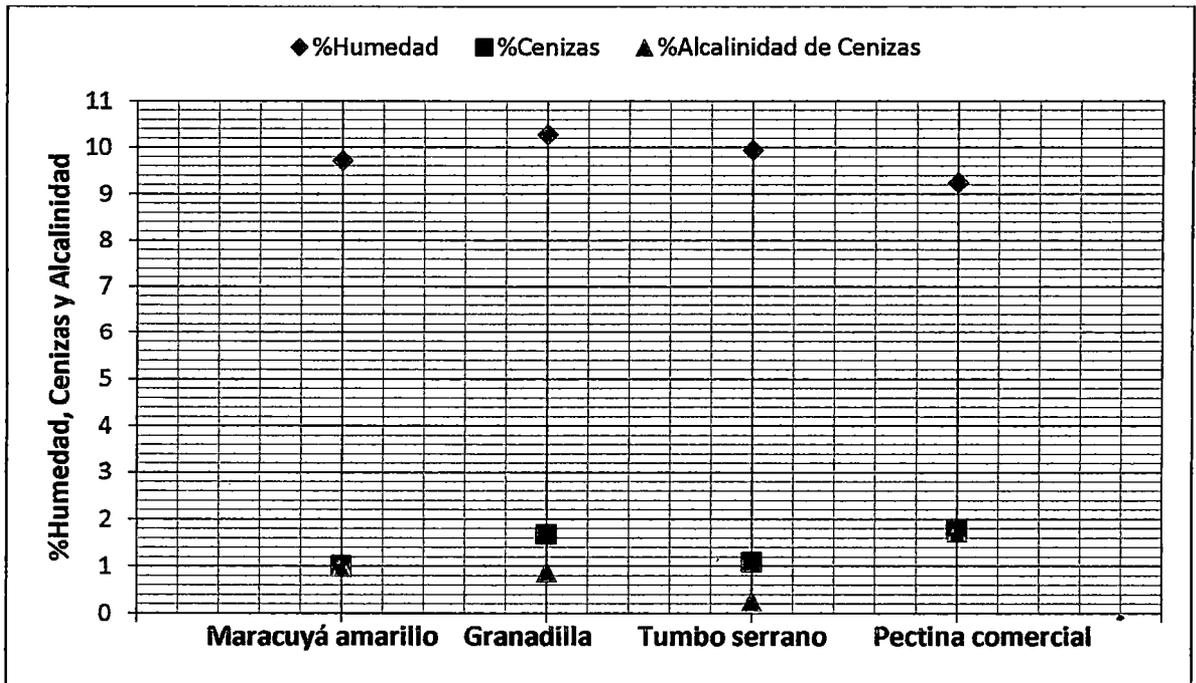
En base a los resultados obtenidos, se optó por trabajar con las pectinas de óptimo rendimiento de las tres frutas estudiadas, por triplicado, para determinar las características químicas mostradas en el cuadro 5.30 y a la vez compararlas con las características de la pectina comercial del cuadro 5.31.

**CUADRO 5.30**  
**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

<b>Características químicas</b>	<b>Maracuyá amarillo</b>	<b>Granadilla</b>	<b>Tumbo serrano</b>	<b>Pectina comercial</b>
<b>Humedad (%)</b>	9,72 ± 0,78	10,29± 0,20	9,95 ± 0,55	9,26 ± 0,31
<b>Cenizas (%)</b>	1,02 ± 0,02	1,68 ± 0,03	1,09 ± 0,05	1,79 ± 0,01
<b>Alcalinidad de cenizas (%)</b>	1,00 ± 0,00	0,88 ± 0,04	0,27 ± 0,28	1,74 ± 0,01

**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

**GRÁFICA 5.2**  
**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**



Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

**CUADRO 5.31**  
**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PECTINA COMERCIAL**

Características	Pectina comercial
Peso equivalente	1578,70 ± 10,76
Contenido de metóxilo	8,15 ± 0,06
Ácido galacturónico	59,74 ± 0,87
Grado de esterificación	77,42 ± 0,65

Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

**CUADRO 5.32****CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS TRATAMIENTOS DE LA PECTINA DEL MARACUYÁ AMARILLO**

<b>Características</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Peso equivalente</b>	733,38	934,58	602,88	1203,84	697,16	1153,31	680,15	1155,38
<b>Contenido de metóxilo</b>	9,43	9,55	9,08	11,10	9,75	10,24	9,05	10,10
<b>Ácido galacturónico</b>	81,08	76,63	84,34	81,22	84,15	76,95	80,81	76,17
<b>Grado de esterificación</b>	66,00	70,76	61,15	77,60	65,77	75,53	63,59	75,32

**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

**CUADRO 5.33**  
**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS TRATAMIENTOS DE LA PECTINA DE LA GRANADILLA**

<b>Características</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Peso equivalente</b>	676,11	Trazas	607,52	Trazas	647,67	Trazas	614,82	1314,51
<b>Contenido de metóxilo</b>	8,27	Trazas	7,82	Trazas	8,09	Trazas	8,08	8,73
<b>Ácido galacturónico</b>	78,14	Trazas	78,53	Trazas	78,27	Trazas	79,69	69,99
<b>Grado de esterificación</b>	60,06	Trazas	56,51	Trazas	58,65	Trazas	57,57	70,85

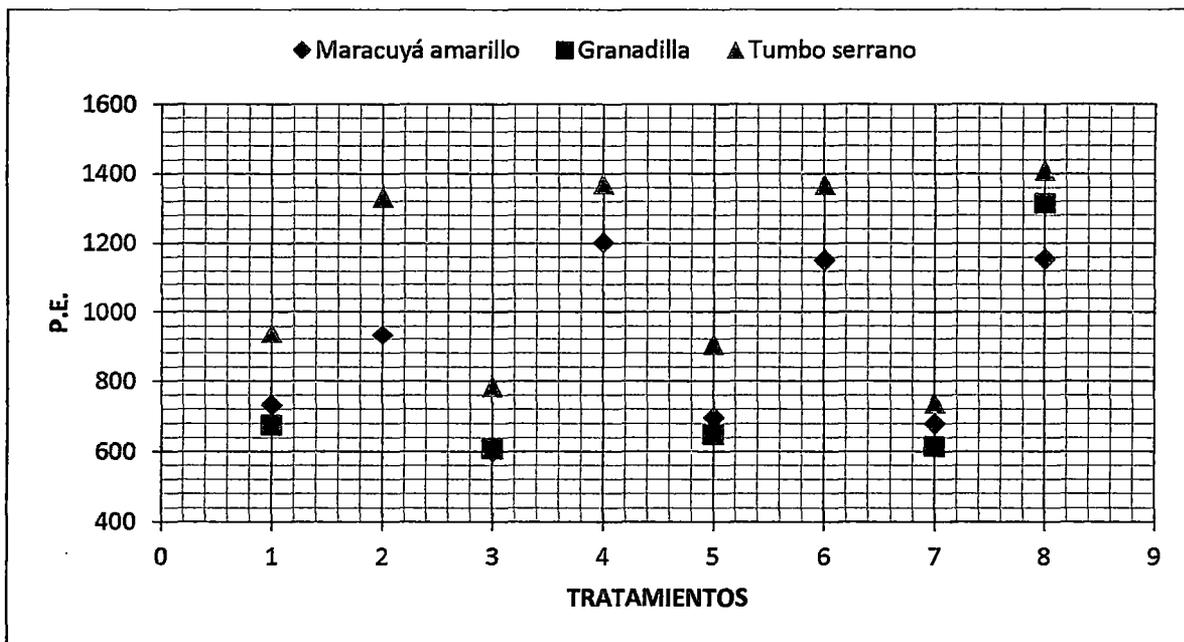
**Fuente:** Elaborado por los autores de la tesis.

**CUADRO 5.34****CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS TRATAMIENTOS DE LA PECTINA DEL TUMBO SERRANO**

<b>Características</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Prueba 6</b>	<b>Prueba 7</b>	<b>Prueba 8</b>
<b>Peso equivalente</b>	939,19	1332,91	784,91	1371,26	905,01	1369,90	738,81	1409,35
<b>Contenido de metóxilo</b>	9,63	10,07	9,56	10,00	9,48	10,08	9,10	9,60
<b>Ácido galacturónico</b>	74,37	71,37	77,69	70,61	74,24	71,05	76,47	67,98
<b>Grado de esterificación</b>	73,49	80,14	69,89	80,45	72,50	80,55	67,58	80,20

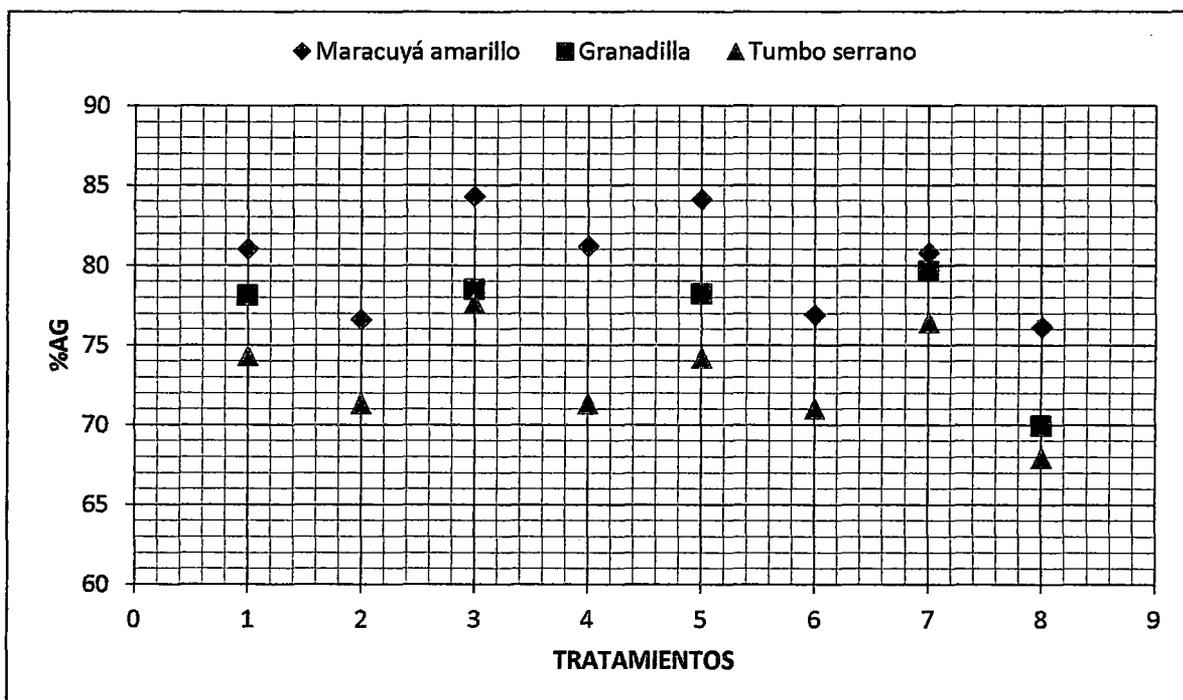
Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

**GRÁFICA 5.3**  
**COMPARACIÓN DE LOS PE DE LOS 8 TRATAMIENTOS**



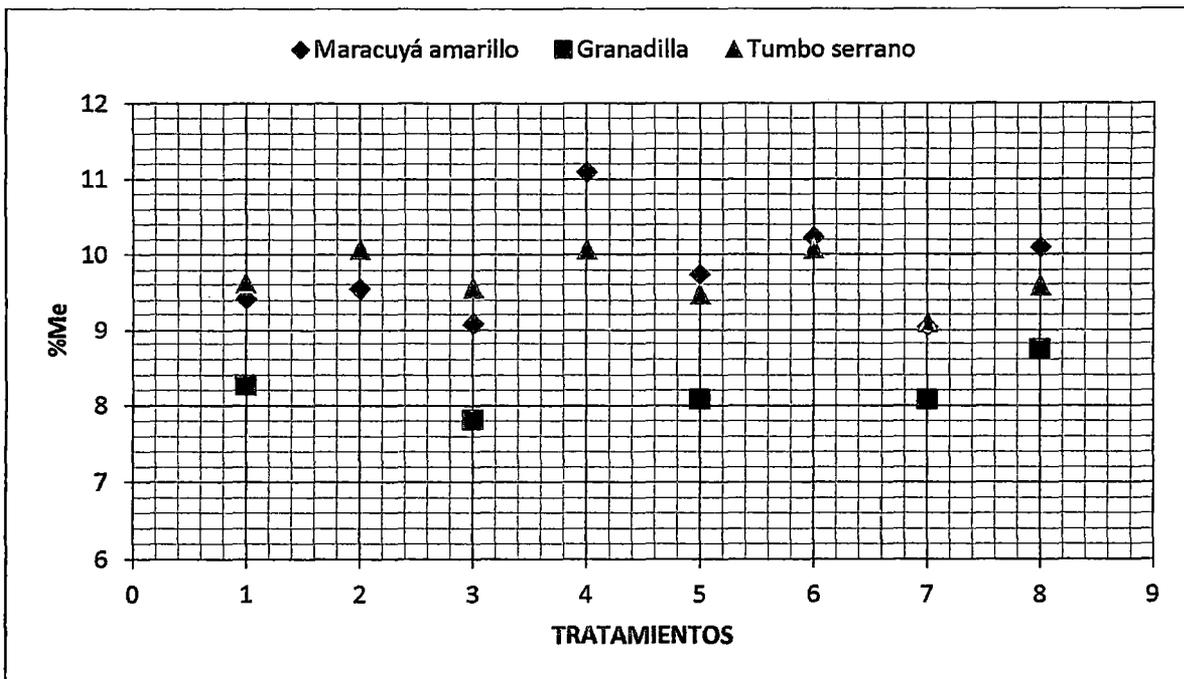
Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

**GRÁFICA 5.4**  
**COMPARACIÓN DE LOS AG DE LOS 8 TRATAMIENTOS**



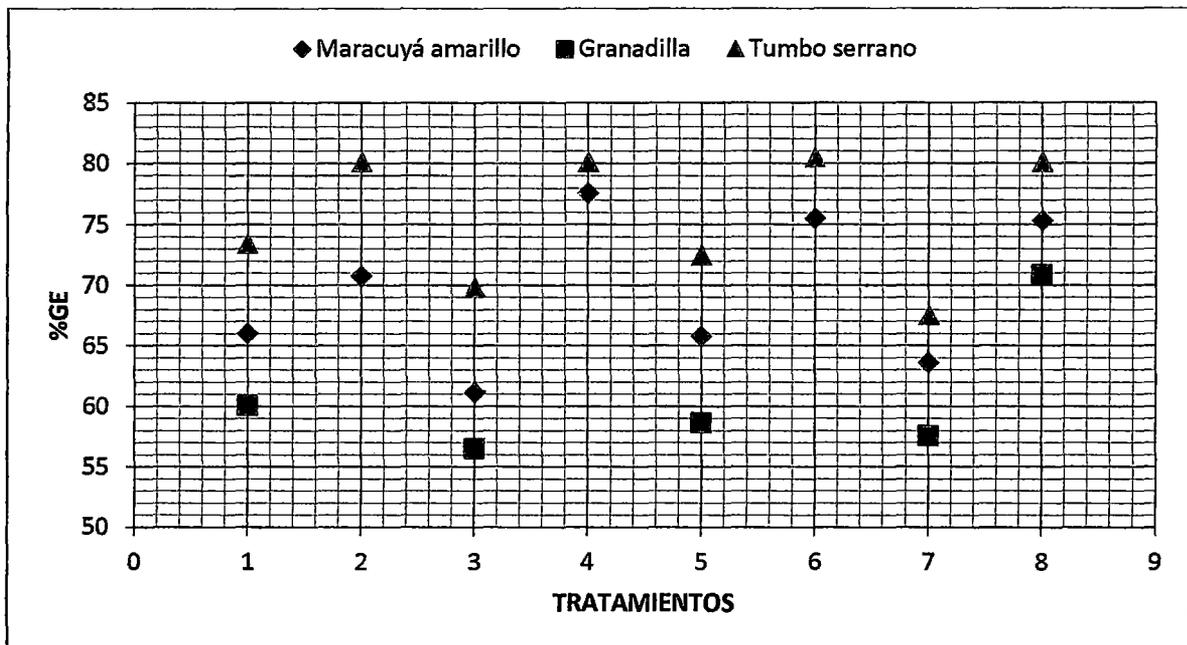
Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

**GRÁFICA 5.5**  
**COMPARACIÓN DE LOS %ME DE LOS 8 TRATAMIENTOS**



Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

**GRÁFICA 5.6**  
**COMPARACIÓN DE LOS GE DE LOS 8 TRATAMIENTOS**



Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

## **VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.**

En contraste con las hipótesis planteadas se demostró que los contenidos de las características químicas de las pectinas del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano extraídas por hidrólisis ácida son similares al de la pectina comercial "Montana". Sin embargo, se evidenció que en cuanto al rendimiento de las pectinas de la granadilla y del tumbo serrano a diferencia del maracuyá amarillo, no son posibles sustituir a la pectina comercial existente, ya que su máximo rendimiento está acotado a un bajo contenido en sus características, debido a que las condiciones de extracción (N° 7: pH 2, temperatura = 95°C y tiempo= 90 minutos) que se trabajó eran rigurosas, no obstante en la obtención de bajos rendimientos, las condiciones no fueron fuertes, por lo que presentaron un alto contenido en sus características haciéndolos competente al de la pectina comercial.

### **6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.**

#### **6.2.1. Contrastación sobre los resultados parciales.**

##### **I. Caracterización de la materia prima**

Véase el cuadro 5.1, en la página 137:

La determinación de los pesos reportó que el mayor valor lo presentaba el maracuyá amarillo pesando casi el doble respecto a la granadilla y el tumbo serrano, estos últimos presentaron valores muy cercanos a pesar de la diferencia en sus formas.

La determinación de la longitud de la granadilla reportó un valor de 6,76 cm el cual se encuentra en el rango de 6 – 12 cm señalado por el Boletín N° 1, mientras que para el maracuyá amarillo el valor reportado de

8,62 cm no presentaba cercanía con el valor dado por el Boletín N°9 el cual fue de 10 cm, la misma situación se visualizó para el tumbo serrano ya que el valor obtenido de 9,73 cm no se encontraba dentro del rango de 6 – 9 cm indicado por el Folleto N°9.

La determinación del diámetro de la granadilla reportó un valor de 7,95 cm el cual se encontraba dentro del rango de 7 – 8 cm señalado por el Boletín N° 1 (1996), sin embargo para el maracuyá amarillo el valor reportado de 6,87 cm se alejaba del valor de 6 cm indicado por el Boletín N°9, esta misma tendencia se observó para el tumbo serrano cuyo valor de 3,86 cm tampoco se hallaba dentro del rango de 4 – 5 cm indicado por el Folleto N°9.

Véase el cuadro 5.2, en la página 137:

Acorde a los rendimientos determinados a cada parte de la fruta, se observó que el porcentaje de mesocarpio reportó un mayor valor para el maracuyá amarillo con 41,58 %, lo cual influyó directamente al obtener mayor cantidad de pectina; seguido del tumbo serrano con 29,79 % y finalmente la granadilla con 24,40 %. Cabe resaltar que las frutas trabajadas fueron frescas y semimaduras.

Véase el cuadro 5.3, en la página 138:

La determinación de humedad reportó valores de 85,59; 88,72 y 88,86 % para el maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano respectivamente, y comparando con los valores indicados por el Ministerio de Agricultura los cuales fueron de 82,7; 78,9 y 82,1 % para cada fruta respectivamente, se observó una pequeña variación siendo mayor en el caso de la granadilla. El porcentaje de sólidos totales es hallado por diferencia con respecto al 100% total de humedad.

La cantidad de cenizas halladas fueron de 0,82; 1,73 y 0,92 % para el maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano respectivamente, dichos valores presentaron una tendencia ligeramente mayor respecto a los datos reportados por el Ministerio de Agricultura, los cuales fueron de 0,6; 1,3 y 0,8 % para cada fruta respectivamente.

La medición de pH reportaron valores de 2,76; 4,72 y 3,21 para la pulpa del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano respectivamente, donde se observó que de las 3 frutas el más ácido era el maracuyá amarillo, seguido del tumbo serrano y finalmente la granadilla, demostrando de este último que su sabor era más dulce.

La medición de los sólidos solubles expresados en °Brix dieron valores de 17,1; 13,5 y 8,6 para la pulpa del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano respectivamente, visualizando que la mayor concentración de sacarosa lo presentó el maracuyá amarillo, seguido de la granadilla y finalmente el tumbo serrano. Mallaupoma (2010: 9), agrega que los sólidos solubles de la pulpa del tumbo serrano se encuentran entre 9,2 a 12 °Brix, dicha variación se debe al grado de madurez de la fruta analizada.

La cantidad de acidez titulable expresada en ácido cítrico (peso/peso), fueron de 4,12; 0,38 y 1,93 % para la pulpa del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano respectivamente, donde las características más ácidas lo reportó el maracuyá amarillo, seguido del tumbo serrano y en último lugar la granadilla. Cabe resaltar que los valores obtenidos están estrechamente relacionados con los datos reportados en la medición del pH; además Mallaupoma (2010: 9), señala que el % acidez de la pulpa del tumbo serrano se encuentra entre 1,46 a 3,82 %; encontrándose la muestra en dicho rango.

## **II. Pruebas preliminares**

### **A) Hidrólisis de las frutas acondicionadas con epicarpio y sin epicarpio.**

Véase el cuadro 5.5, en la página 139:

La cantidad de pectina obtenida fue mayor en el proceso sin epicarpio para las tres frutas, además que presentó una coloración distinta a la del proceso con epicarpio. Tal es así que la pectina del maracuyá amarillo con epicarpio mostró un color amarillento y sin éste se obtuvo una coloración amarillo claro, de la misma manera se visualizó para la pectina de la granadilla variando su coloración de naranja oscuro a naranja claro y para el tumbo serrano cambió de un marrón rojizo a un naranja rojizo.

Cabe resaltar que en los lavados para reducir los grados brix, el proceso con epicarpio mostró mayor cantidad de sólidos solubles lo que implicó mayor cantidad de veces de lavado.

Asimismo en el proceso de triturado, para el caso de la granadilla con epicarpio, no se pudo desmenuzar completamente, debido a que su cáscara fue de consistencia dura a comparación de los otros dos frutos y esto se observó al momento de filtrar después de la hidrólisis.

### **B) Hidrólisis con temperatura baja de 50°C y 95°C.**

Véase el cuadro 5.6, en la página 140:

El rendimiento de pectina se obtuvo en mayor cantidad cuando se trabajó a altas temperaturas, ya que Isique (1986: 67) señala que cuando aumenta la temperatura provoca una mejor hidrólisis de la protopectina dando lugar a un mayor rendimiento de producto.

También se observó que después de la hidrólisis a baja temperatura, se obtuvo una gran cantidad de solución péctica lo cual implicó mayor gasto de alcohol para la precipitación de la pectina.

### **C) Hidrólisis agregando la muestra en frío y en caliente.**

Véase el cuadro 5.7, en la página 141:

El rendimiento de pectina se obtuvo ligeramente en mayor cantidad cuando se agregó la muestra en caliente (95°C), a pesar que el tiempo de la hidrólisis fue mayor cuando se agregó la muestra en frío. Tomando en cuenta que el tiempo de la hidrólisis agregando la muestra en frío se consideró después del calentamiento del agua acidulada.

### **D) Hidrólisis agregando la muestra acondicionada con y sin secado.**

Véase el cuadro 5.8, en la página 142:

El proceso donde se obtuvo el máximo rendimiento fue con la muestra acondicionada completamente seca, lo cual se demuestra por lo señalado en las referencias bibliográficas, ya que estas expresan el rendimiento en una relación de peso de pectina seca / peso de la muestra acondicionada seca. Para ambas pruebas se trabajó con la misma cantidad de muestra (127 g), sin embargo para la prueba con secado se secó una ellas hasta peso constante (45,8 g).

Las cantidades de las pectinas obtenidas no dieron los mismos resultados, debido a que según Cole (1951; citado por Acuña, 1990: 83), con la reducción del tamaño de la cáscara acondicionada seca se aumenta la superficie de contacto entre la materia prima y la solución ácida, por lo que hay mayor solubilización en la hidrólisis y por ende mayor extracción de pectina; lo cual se vio reflejado directamente con el rendimiento.

### **E) Hidrólisis con el mesocarpio y el endocarpio de la fruta.**

Véase el cuadro 5.9, en la página 143:

De los tres tratamientos mostrados, el mayor rendimiento se obtuvo cuando solo se trabajó con la muestra del mesocarpio acondicionado, si bien pudo apreciar que la cantidad de pectina obtenida a partir del proceso donde se trabajó mesocarpio y endocarpio juntos fue mayor, se observó que se requirió más agua acidulada, lo que implicó mayor gasto de ácido clorhídrico y alcohol.

A la vez también se comprobó que el endocarpio contenía pectina, pero que por su composición, de acuerdo a lo señalado por Isique (1986: 59), contiene gran cantidad de pigmentos carotenoides amarillentos, lo cual podría afectar en la calidad de la pectina; es por ello que no se usó para la parte experimental.

### **F) Hidrólisis con diferentes relaciones de cáscara : agua acidulada**

Véase el cuadro 5.10, en la página 143:

Se observó que el mayor rendimiento se obtuvo a partir de la relación: cáscara acondicionada / agua acidulada de 1 / 12, ya que según Kirk (1962, citado por Veliz: 134) esta relación tienen que ver con la capacidad de retención de agua del bagazo, asimismo incide en el tiempo de concentración y la cantidad de solvente orgánico para precipitar.

Cabe resaltar que en las relaciones pequeñas como 1/ 3, 1/ 5 y 1/ 8, era tanta la ebullición que el agua acidulada se evaporó rápidamente por lo que dificultó la agitación y presentó un aspecto muy viscoso, lo cual quedó comprobado con lo señalado por Véliz (1984: 147), que a bajos volúmenes de agua, el bagazo adsorbía la mayor cantidad de ésta y ello dificultaba la extracción, a volumen mayor la extracción fue más fácil.

### **G) Precipitación de pectina usando diferentes concentraciones de alcohol con y sin acidular.**

Véase el cuadro 5.11, en la página 144:

Se observó que agregando una concentración óptima del 80% referido a la solución péctica ligeramente acidulado, nos dio un gel definido, consistente y fácil de filtrar, ya que a menores concentraciones, cierta cantidad de gel pasaba a través del filtro (tela de punto).

Devia (2003 : 26) recomendó que para la precipitación de las pectinas se debe utilizar un volumen de alcohol equivalente al 80% de la solución péctica. Sin embargo, señaló que disminuyendo el volumen de alcohol a un equivalente el 60% del volumen de la solución no se disminuye el rendimiento de una manera notable.

Se trabajó con alcohol acidulado a pH 3, ya que el alcohol de 96° presentaba un rango de pH entre 6,2 – 6,5; el cual contrasta con la concentración que usó Isique (1986), trabajando a un pH 6. Además, según Braverman (1949, citado por Acuña 1990: 113), sostiene que cuando la pectina es precipitada por adición del alcohol, se forma un coágulo fibroso, y cuanto más fibroso es el precipitado, mayor es la fuerza del gel de la pectina.

### **H) Secado de la pectina a diferentes temperaturas (40 – 50 – 60°C)**

Véase el cuadro 5.12 y 5.13, en la página 145:

El mayor rendimiento se obtuvo secando la pectina a una temperatura de 50°C. Con la temperatura de 60°C se observó una considerable pérdida de pectina ya que según referencias bibliográficas a partir de esta temperatura la pectina se degrada, mientras que a la

temperatura de 40°C se observó un bajo rendimiento ya que por el exceso de tiempo de secado, pudo haber ocasionado la degradación de pectina.

La temperatura es un factor que va a afectar el grado de esterificación de la pectina, reduciendo su contenido agua ligada y de metóxilos. Experimentalmente se pudo observar que a medida que se incrementa la temperatura durante el secado se produce una mayor degradación de la pectina. Esta degradación se debe a la ruptura de los enlaces que produce una separación del grupo oxidrilo del agua con el metóxilo. Al separarse el grupo oxidrilo se une con el hidrógeno (protón) del medio formando agua. Al quedar el grupo metóxilo sin el agua ligada este queda expuesto y es fácilmente hidrolizable dando como lugar a la desesterificación de la molécula con la consecuente formación del anión carboxilo y el catión metilo. El catión metilo se une a los oxidrilos de medio líquido y por ionización forman el metanol o etanol, los cuales son altamente volátiles (Chasquibol, 2008: 81).

## **6.2.2. Contrastación de resultados sobre los resultados finales**

### **I. Parámetros de operación**

Véase el cuadro 5.29 y la gráfica 5.1, página 159:

En la determinación del rendimiento de las pectinas se reportó un valor máximo para la prueba 7 (pH 2, temperatura de 95 °C y tiempo de 90 minutos) para las tres frutas estudiadas, mientras que el valor mínimo tanto para el maracuyá amarillo y la granadilla se mostraron en la prueba 6 (pH 3, temperatura de 80 °C y tiempo de 90 minutos) y para el caso del tumbo serrano fue en la prueba 2 (pH 3, temperatura de 80 °C y tiempo de 60 minutos).

Se observó que tomando como parámetros constantes la temperatura y el tiempo de la hidrólisis (véase cuadro 5.19, página 149), los valores de las pruebas impares (pH 2) mostraron un alto rendimiento con respecto a las pruebas pares (pH 3), esto queda comprobado ya que según Acuña (1990: 83), señala que a bajos valores de pH como 1,5 – 2 se formaba una masa coloidal densa y consistente, la cual era fácil de aislar del licor alcohólico por filtración sin embargo a pH 2,5 – 3 perdía su consistencia y éste pasaba a través del filtro, por lo que se perdía muestra variando el resultado en el rendimiento, esto último concordó con lo indicado por Pagán (1998:65) quien observó una clara tendencia al disminuir el porcentaje de pectina extraída al aumentar el pH.

Muñoz (2011: 35) encontró que después de alcanzar el punto máximo en 1,7, los valores de rendimiento de la pectina de cocona descendieron para el pH de 1,2, lo cual se debió a que bajo estas condiciones mucho más agresivas, se produjo la degradación de las sustancias pécticas presentes en el sustrato.

El aumento de la concentración de hidrogeniones en la solución de extracción provoca una hidrólisis degradante en la protopectina provocando menor cantidad de productos. (Isique, 1986: 59).

Se observó que tomando como parámetros constantes el pH y el tiempo de la hidrólisis, los valores de las pruebas trabajadas a la temperatura de 80°C (pruebas 1, 2, 5, y 6) mostraron un bajo rendimiento a las trabajadas a 95°C (pruebas 3, 4, 7 y 8), ya que Isique (1986: 67) encontró que cuando aumenta la temperatura y el tiempo de extracción provocan una mejor hidrólisis de la protopectina a pectina soluble dando lugar a un mayor rendimiento de producto. Asimismo Guerra (2012: 25) señaló que a tiempos de extracción constante, la disminución del pH y el aumento de temperatura produjeron un incremento del rendimiento de la pectina extraída.

Aceves (1987: 93) observó que al extraer pectina del tejocote que cuando se incrementó la temperatura desde 71 a 92°C el rendimiento fue mayor hasta los 85°C y a los 92°C disminuyó.

A pH y temperatura constante, en algunas pruebas se observó que a medida que aumentó el tiempo de extracción aumentó el porcentaje de pectina obtenida, lo cual se corroboró por Gamboa (2009: 48) que a medida que aumentó el tiempo de extracción de la pectina del mango aumentó el rendimiento de ésta hasta a un valor máximo.

Pagan (1998: 66) observó durante la extracción de la pectina del melocotón que en un determinado tiempo se llegó a un valor máximo y que a partir de ese valor, disminuyó el rendimiento de la extracción. Los datos que él obtuvo lo interpretó como un proceso de dos etapas señalando que primero se produjo una solubilización de la pectina que pasa de la fase sólida a la solución ácida, y a continuación una hidrólisis de la pectina soluble que pasa a productos degradados, es decir, la primera etapa predominó hasta un tiempo determinado en el que se agota pectina del sustrato y a partir de aquí, el predominio de la segunda hidrólisis produjo una disminución en el rendimiento de la pectina extraída a tiempos superiores.

Aceves (1987:101) señaló que a menores tiempos de 1,5 horas durante la extracción de la pectina del tejocote el rendimiento disminuyó, lo cual se debió a que no se logró extraer toda la pectina de ésta, y que a más de ese tiempo la pectina extraída se hidrolizó por el tratamiento térmico.

Existen ciertas variaciones entre los resultados obtenidos y los reportados en los trabajos citados anteriormente, se considera que tales discrepancias se pueden deber a: las diferencias en las variedades evaluadas, estado de madurez, cantidades de muestra considerada, así como, los métodos de extracción, considerando tiempo de hidrólisis, pH,

tipo de extractante, relación entre el sustrato y la solución ácida, y el alcohol utilizado para la precipitación. Gamboa (2009: 50).

## II. Caracterización de las pectinas

Véase el cuadro 5.30, página 160 y la gráfica 5.2, página 161:

En la determinación de humedad de las pectinas obtenidas de las tres frutas estudiadas reportaron valores cercanos al de la pectina comercial con 9,26 %, donde el más cercano fue el del maracuyá amarillo con 9,72 %, siendo este ligeramente mayor al obtenido por Isique (1986: 79) cuyo valor de humedad fue de 9,4 % para la pectina de la misma fruta trabajada. Estos valores son aceptados ya que según Food Chemicals Codex (1991, citado por Gamboa 2009: 53) y la FAO (1978; citado por Véliz 1984: 147), los valores de contenido de humedad exigidos para pectinas comerciales establece valores de  $\leq 12\%$  de pérdida de peso por secado, para una mejor estabilidad en el almacenaje.

Además según Aceves (1987: 161) a mayores valores de humedad, las sustancias pécticas fueron fácilmente atacadas por bacterias provocando su hidrólisis.

En la determinación de las cenizas de las pectinas obtenidas, reportó que el valor de la granadilla con 1,68 % fue el más cercano al de la pectina comercial con 1,79 %, estos valores se encontraron dentro del rango señalado por Food Chemicals Codex (1991, citado por Gamboa 2009 : 58), que mencionó que el contenido de cenizas para las pectinas comerciales deberá oscilar en  $\leq 10\%$ , lo cual al mismo tiempo concordó con la FAO (1978; citado por Véliz 1984 : 147), que señaló que las cenizas no deben tener más del 6%.

Aceves (1987: 161) indicó que en la cenizas predominan minerales tales como sodio, potasio, calcio, magnesio y cloro, aunque la mayor o

menor proporción de estos elementos depende del tipo de suelo y labores que en estos frutos se realicen.

Nelson (1977) citado por Isique (1986: 67) señaló una reducción del contenido de cenizas de 2 – 4 % cuando se realizó los lavados con alcohol de 70° a la pectina, tomando en cuenta esta premisa se observó que los resultados obtenidos presentaron estas características y que al comparar las cenizas de la pectina del maracuyá amarillo con respecto al valor obtenido por Isique (1986: 79) que fue de 2,10 %, se observó una marcada diferencia.

En la determinación de la alcalinidad de cenizas de las pectinas obtenidas, reportó que el valor del maracuyá amarillo con 1,00 % fue próximo al valor obtenido por la pectina comercial con 1,74% y a lo obtenido por Isique (1986) cuyo resultado fue de 0,97 %; mientras que para el tumbo serrano con 0,27% se observa una marcada diferencia.

Véase la gráfica 5.3, página 165:

Los pesos equivalentes obtenidos para la pectina del maracuyá amarillo varían entre 602,88 - 1155,38 g/eq, para la granadilla entre 607,52 - 1314,51 g/eq y para el tumbo serrano entre 738,81 - 1409,35 g/eq, y comparando con el valor de la pectina comercial el cual fue de 1578,70 g/eq se observó que éste fue superior a los rangos mostrados, lo cual demostró un nivel moderado de carboxilos libres (-COOH).

Se comparó con el valor obtenido por Isique (1984) quien trabajó con el maracuyá amarillo y obtuvo un valor de 1052,8 g/eq, y para el caso del mango obtenido por Gamboa (2009) el valor fue de 1210,32 g/eq, donde se observó que ambos valores se encuentran dentro de los rangos mostrados; a diferencia de Chacín (2010) quien registró para la guayaba un valor de 2512,5 g/eq, el cual fue superior a lo señalado, y a su vez

Guerra (2012) quien obtuvo 549,45 g/eq para la pectina del plátano, el cual fue inferior a nuestros resultados.

Los datos de la gráfica mostraron que los resultados obtenidos para las pruebas pares (pH 3) son mayores respecto a las pruebas impares (pH 2) por cada fruta, de acuerdo a ello el valor máximo se reportó para la prueba 8 tanto para la granadilla como el tumbo serrano, mientras que para el maracuyá amarillo se visualizó para la prueba 4. El valor mínimo lo presentó el tumbo serrano para la prueba 7, a pesar de que se haya obtenido el mayor rendimiento, seguido de la prueba 3 tanto para el maracuyá amarillo como la granadilla. Esto concuerda con lo señalado por Gamboa (2009: 60), ya que el peso equivalente fue menor a medida que el pH disminuyó (aumentó la acidez del medio) y el tiempo de extracción utilizado fue menos drástico.

Asimismo, Muñoz (2011: 34) indicó que al utilizar soluciones más ácidas puede ocurrir una fragmentación de las cadenas del ácido poligalacturónico reduciendo el peso molecular y por ende, el peso equivalente de la pectina.

En base a los resultados obtenidos se puede inferir, que la pectina extraída de los tres frutos fue de buena calidad, ya que el peso equivalente indica la firmeza del gel (a mayor peso equivalente mayor es la fuerza del gel), proporcionado por el número de residuos de ácido galacturónico en la molécula (Chacín, 2010: 10).

Véase la gráfica 5.4, página 165:

La cantidad de ácido galacturónico calculada para las pectinas del maracuyá amarillo presentaron un rango de 76,63 – 84,34 %, para la granadilla osciló entre 69,99 – 78,53 % y para el tumbo serrano varió de 67,98 – 77,69 %; y de acuerdo a lo señalado por la FAO (1978) el contenido de ácido galacturónico en una pectina de buena calidad no

debe ser menor del 65%, asimismo Owens (1952) señaló que debe ser superior al 74%. Sin embargo para el caso de la pectina comercial mostró un valor de 59,74%, lo cual se debió a la presencia de azúcares estandarizantes y sales buffers usadas para pectinas comerciales (Nelson 1977, citado por Isique, 1984: 82).

Isique (1984) realizó pruebas sobre el maracuyá amarillo y el contenido de ácido galacturónico que obtuvo fue 85,97%; asimismo Gamboa (2009) quien realizó estudios sobre la pectina del mango obtuvo un valor de 75,87%, de igual manera Pagan (1998) quien trabajó con pectina de melocotón obtuvo 70,95 % y Chasquibol (2008) para la pectinas del níspero y granadilla obtuvieron 87,97 y 85,99%, respectivamente.

Los datos obtenidos mostraron que el valor mínimo de contenido de ácido galacturónico fue en la prueba 8 para las tres frutas estudiadas, mientras que el valor máximo se observó en la prueba 3 tanto para el maracuyá amarillo como el tumbo serrano, y en el caso de la granadilla fue para la prueba 7. Acorde a estos resultados se visualizó que a pH 2 se consiguió el mayor porcentaje de AG, tanto a tiempos de 60 como de 90 minutos, mientras que el menor valor se reportó a pH 3 donde se trabajó con alta temperatura y tiempo prolongado. Esto queda contrastado por Link and Dickson (1930; citado Gamboa, 2009: 76) quienes afirmaron que el ácido galacturónico es estable, es decir, no resulta alterado en los procesos de extracción de la pectina. Sin embargo, muchos de los carbohidratos que forman parte de la pectina pueden sufrir una hidrólisis parcial durante el proceso de extracción de la misma.

Gamboa (2009: 78) mencionó que a un mayor tiempo de hidrólisis ocurre una mayor fragmentación de la molécula de pectina, por lo que el contenido de ácido galacturónico tenderá a ser menor. Esto quedó

comprobado ya que la pectina del maracuyá amarillo fue la que presentó el mayor porcentaje de AG en cuya condición se trabajó a menor tiempo.

Véase la gráfica 5.5 y 5.6, página 166:

Los contenidos de metóxilos observados en la gráfica 5.5 para la pectina del maracuyá amarillo varió entre 9,05 a 11,10%, para la granadilla entre 7,82 a 8,73% y para el tumbo serrano entre 9,10 a 10,05%. Isique (1984) y Marín (2005) reportaron para el maracuyá amarillo un valor de 11,64% y 9,90% respectivamente, y Gamboa (2009) obtuvo un valor de 9,81% para la pectina del mango, asimismo la pectina comercial utilizada en este estudio mostró un valor de 8,15%; estos resultados fueron considerados como pectinas de alto metóxilo, acorde a lo mencionado por los mismos autores.

Se observó que la pectina comercial fue la que se disolvió con mayor facilidad respecto a las otras muestras, este mismo comportamiento lo visualizó Grünauer (2009: 64) quien indicó que este efecto se produjo por la reducida concentración de metóxilos ya que entre mayor sea su grado de esterificación más insoluble es.

La pectina de granadilla no reportó valores de porcentaje de metóxilo para algunas pruebas pares (2, 4 y 6) ya que según el cuadro 5.33 señaló que se obtuvieron trazas (bajos rendimientos en la extracción) a diferencia de las pectinas del maracuyá amarillo y del tumbo serrano, lo cual se pudo deberse a que la hidrólisis aplicada resultó insuficiente por el difícil acceso que presentó la red de tejidos del albedo para el solvente y por la insolubilidad de la protopectina que representa la mayor proporción en las cáscaras que se encuentran protegidas por enlaces secundarios que las ligan a celulosa y otros componentes de la pared celular (Doesburg, 1965; citado por Quito, 2011: 10).

Vásquez (1993: 126) mencionó que al aumentar la temperatura y tiempo de extracción se aumenta el rendimiento pero se reduce el porcentaje de metóxilos, debido al aumento de la hidrólisis de los ésteres en los grupos carboxilos metoxilados, y que está relacionado directamente con la calidad de la pectina.

Los resultados obtenidos en % metóxilo para las pruebas impares fueron menores respecto a las pruebas pares tanto para el maracuyá amarillo como para el tumbo serrano, además que para la granadilla sólo se registraron datos obtenidos a pH 2; esto se debió con lo señalado por Alfonso (2010: 131) que al disminuir el pH, aumentó la hidrólisis de ésteres en los grupos carboxilos metoxilados.

Las pectinas de alto metóxilo se gelifican debido a interacciones hidrofóbicas y a los puentes de hidrógeno entre las moléculas de la pectina, a bajo pH (< 3,5) y con alto contenido de azúcar (Oakenfull, 1991; citado por Chasquibol, 2008: 191).

Chasquibol (2008: 192) mencionó que el grado de esterificación está relacionado con la formación del tipo de gel. A mayor grado de esterificación mayor serán las interacciones hidrofóbicas, por lo que el gel será más fuerte y lo cual conlleva una mayor temperatura de gelificación, por eso se llaman pectinas ultrarrápidas (rapid set). Los resultados mostrados en la gráfica 5.6 fueron superiores al 50% por lo que se consideraron pectinas de alto grado de esterificación, tal es así que para el maracuyá amarillo varió entre 61,15 – 77,60 %, para la granadilla entre 56,51 – 70,85 % y para el tumbo serrano entre 67,58 – 80,55 %.

La pectina comercial evaluada reportó un valor de 77,42 %, Isique (1984) y Marín (2005) obtuvieron valores de 76,87 y 72,05 % para la pectina del maracuyá amarillo, de igual forma Gamboa (2009) mostró para la pectina del mango un valor de 82,38 %, Chasquibol (2008) para las

pectinas del níspero y granadilla obtuvieron 86,24 y 88,79%, respectivamente.

Yúfera (1980; citado por Gamboa, 2009: 73) afirmó que las cadenas de pectinas con alto porcentaje de metóxilos tenderán a presentar un grado de esterificación superior al 50%. Además, dio un indicio de la proporción de los ácidos carboxílicos presentes que se encuentran metoxilados (esterificados con metanol), mientras que el grado de esterificación establece el porcentaje de ácidos carboxílicos que se han sintetizado para formar un éster – metoxílico. Esto es determinante ya que generalmente los grupos éster tienden a ser menos hidrófilos que los grupos ácidos, lo cual resultó de gran importancia al momento de establecer el uso de las pectinas.

Ullman (1950, citado por Quito, 2011: 13), señaló que la temperatura es el factor que va a afectar el grado de esterificación (GE) de la pectina reduciendo su contenido de metóxilos. Por lo que a menor temperatura y un pH intermedio reportó un nivel aceptable de metóxilos. De esta manera se comprobó el buen desarrollo de la metodología de caracterización de pectina de alto metóxilo y se aseguró que los datos obtenidos no difieren en relación a otros trabajos de investigación. Lo cual dio firmeza y seriedad al informe de tesis.

## VII. CONCLUSIONES

- Las variables como el pH y la temperatura fueron determinantes para la extracción de pectina, mientras que la variable del tiempo influyó en el mayor o menor rendimiento de la misma. Asimismo, el tratamiento que reportó el mayor rendimiento para la obtención de pectina fue el número 7 a las condiciones de pH 2, temperatura 95°C y tiempo 90 minutos, sin embargo a condiciones menos drásticas se obtuvo mayores valores en sus características químicas.
- El rendimiento óptimo de pectina obtenida del maracuyá amarillo fue de 21,18% y presentó un contenido en sus características químicas de 9,05 %Me, 80,81 %AG y 63,59 %GE.
- El rendimiento óptimo de pectina obtenida de la granadilla fue de 12,60% y presenta un contenido en sus características químicas de 8,08 %Me, 79,69 %AG y 57,57 %GE.
- El rendimiento óptimo de pectina obtenida del tumbo serrano fue de 16,06% y presenta un contenido en sus características químicas de 9,10 %Me, 76,47 %AG y 67,58 %GE.
- La pectina comercial presentó las siguientes características: 8,15 %Me, 59,74 %AUA y 77,42 %DE y haciendo una comparación con los resultados obtenidos de las pectinas de las frutas analizadas, se observó que estas mostraron características químicas similares pero que en rendimiento la pectina del maracuyá amarillo presentó mejores posibilidades de uso industrial.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Evitar el uso de telas de nylon como material filtrante, ya que al momento de filtrar la muestra arrastra consigo pequeños hilos, por ellos es preferible el uso de la tela tocuyo o la tela de punto tal y como se realizaron en las pruebas.
- Utilizar para el secado de las muestras una estufa con circulación de aire caliente, ya que de esa manera se reduciría el tiempo de secado y se evitaría que la pectina se oscurezca.
- Moler la pectina obtenida lo más fino posible, en caso de no conseguirlo usar un tamiz de malla fina o agregarle agua tibia a 50 °C para la solubilización completa.
- Estudiar la producción de pectina a partir de la cáscara de maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano a nivel de planta piloto, para posteriormente contemplar las alternativas técnicas en la producción de pectina de este fruto a nivel industrial.
- Estudiar la posible utilización del bagazo del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano después de la extracción de pectina como posible fuente para la producción de alimento de ganado o para producción de alcohol.
- Realizar un estudio de la producción de pectina del bagazo del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano por el método de intercambio iónico para el ahorro de energía, equipos y alcohol o el proceso de electrodecantación utilizando un equipo de electroforesis o alumbre para precipitar la pectina que es una sal más económica y de fácil acceso.
- Estudiar la posibilidad de utilizar la pectina en forma líquida para efectos de comercialización ya que en esta fase presenta un alta

solubilización en productos como jaleas y mermeladas. Hallar las mejores condiciones de extracción y concentración para la obtención de pectina líquida concentrada.

- Continuar el estudio de pectina de frutas nativas peruanas.
- Emplear el método de espectroscopia infrarroja (IR) con transformada de Fourier para analizar y comparar el espectro obtenido de las pectinas extraídas de diversas frutas con respecto a la pectina comercial (Ver Anexo XVI).
- Evitar que la muestra acondicionada se almacene por mucho tiempo en refrigeración ya que pueden crecer hongos propios del ambiente (Ver Anexo XVII).
- Concentrar la solución péctica obtenida después de la hidrólisis ácida utilizando un rotavapor al vacío, ya que de esta manera se podría ahorrar costos en la adquisición del alcohol para la precipitación de la pectina (Ver Anexo XVIII).
- Recuperar el alcohol procedente de la precipitación de la pectina utilizando el método de destilación para poder reutilizar el alcohol purificado y de esta manera se ahorraría en costos en la adquisición de este insumo (Ver Anexo XIX).
- Dada su importancia, es necesario entonces el estudio de nuevos métodos y la búsqueda de nuevas fuentes que proporcionen este material, ya que según el tratamiento que se haga a las materias primas se obtienen diferentes calidades de pectina, de acuerdo con las exigencias del mercado y las necesidades de los productos terminados.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ABZUETA DÁVILA, ISABEL CRISTINA Y OTROS. **Extracción de pectina de alto metóxilo a partir de cascaras de parchita para la producción de mermelada.** Disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wpcontent/uploads/pectiprods-merida.pdf>. Artículo web. Consultado el 15 de abril del 2012.
- 2) ACEVES MONDRAGON, JOSE LUIS Y OTROS. **Extracción y caracterización de la pectina de Tejocote (*Crataegus-Mexicana*) y cascara de limón (*Citrus-sp*).** Disponible en: <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/aspuam/presentatesis.php?recno=20282&docs=UAM20282.PDF> . Artículo web. Consultado el 22 de setiembre del 2012.
- 3) ACUÑA GARCÍA, G.E. **Extracción y caracterización de pectina a partir de cortezas de toronja (*Citrus paradisi*).** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1990.
- 4) APONTE, LAURA; GUADARRAMA, ANGEL. **Actividad de las enzimas pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y celulasa durante la maduración de frutos de parchita maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa Degener*).** Disponible en: [http://www.revistaagronomiaucv.org.ve/revista/articulos/2003\\_29\\_2\\_2.PDF](http://www.revistaagronomiaucv.org.ve/revista/articulos/2003_29_2_2.PDF). Artículo Web. Consultado el 14 de setiembre del 2012.
- 5) BOLETIN N° 9. **Programa Frutales Nativos.** Ministerio de la Agricultura. Universidad Nacional Agraria. 1970.
- 6) BOLETIN TECNICO N° 1. **El Cultivo de la Granadilla.** Comisión Nacional de Fruticultura. Universidad Nacional Agraria. 1996.

- 7) **BOLETIN TECNICO N° 1. El Cultivo de la Granadilla.** Ministerio de la Agricultura. Segunda Edición. 2000.
- 8) **CARESSA GALVAN, Jorge Alberto. Proyecto de Factibilidad para la Obtención de la Pectina a partir de la Naranja y Toronja.** Tesis profesional. Lima Universidad Nacional de Ingeniería. 1978.
- 9) **CALDERÓN CHUQUITAYPE, EDUARDO; MATOS CHAMORRO, ALFREDO. Fuentes para la extracción de pectina y su aplicación en la industria.** Disponible en: <http://papiros.upeu.edu.pe/bitstream/handle/123456789/165/CIIn18Articulo.pdf?sequence=1>. Artículo web. Consultado el 09 de abril del 2012.
- 10) **CERÓN SALAZAR, IVONNE, CARDONA ALZATE, CARLOS. Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja.** Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/835/83521270004.pdf>. Artículo web. Consultado el 24 de diciembre del 2012.
- 11) **CHACIN, JESSONICA; MARIN, MERILYN. Evaluación del contenido de pectina en diferentes genotipos de guayaba de la zona sur del lago de Maracaibo.** Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/904/90415596002.pdf>. Artículo web. Consultado el 10 de abril del 2012.
- 12) **CHASQUIBOL SILVA, NANCY; ARROYO BENITES, EDMUNDO. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana.** Disponible en: [http://fresno.ulima.edu.pe/sf%5Csf\\_bdfde.nsf/imagenes/105977FBB1325E100525756D004EA62A/\\$file/09-26-chasquibol.pdf](http://fresno.ulima.edu.pe/sf%5Csf_bdfde.nsf/imagenes/105977FBB1325E100525756D004EA62A/$file/09-26-chasquibol.pdf). Artículo web. Consultado el 15 de abril del 2012.

- 13) CHING LAOS, F.E. **Extracción simple, fraccionada y caracterización de la pectina de zapote (*Matisia cordata*)**. Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1991.
- 14) DAVID SUAREZ, Carmen Luisa Y RODRIGUEZ CHURIARSE, Mirtha Beatriz. **Desarrollo del proceso de obtención de pectina líquida a partir de la cáscara de maracuyá**. Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1989.
- 15) DEVIA PINEDA, JORGE. **Proceso para producir pectina cítrica**. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/215/21512902.pdf>. Artículo web. Consultado el 09 de abril del 2012.
- 16) DURAN RAMIREZ, FELIPE. **Manual Curativo con Frutas y Plantas Medicinales**. Colombia. Editorial Grupo Latino Ltda. 2007.
- 17) ELISEO STECHINA, DAMIÁN. **Estudios de obtención de pectina aplicando procesos de membrana**. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8180/tesis/bitstream/1/241/1/tesis.pdf>. Artículo web. Revisado el 11 de abril del 2012.
- 18) ESPINOZA LARA, Rita P. **Factibilidad Técnica de Procesamiento de la Granadilla (*Passiflora Ligularis Juss*)**. **Extracción y Enlatado de Jugos**. Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1972.
- 19) FLÓREZ PARDO, LUZ MARINA; FERNÁNDEZ ALEJANDRO; MARTÍNEZ NAVARRETE, NURIA. **Hidrólisis enzimática de los sólidos insolubles de la pulpa de maracuyá**. Disponible en: <http://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/114>. Artículo web. Consultado el 21 de setiembre del 2012.
- 20) FOLLETO N° 9. **Cultivo del Tumbo**. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Universidad Nacional Agraria. 1995.

- 21) **FRUTICOLA. Producción Hortofrutícola.** Ministerio de Agricultura. 2010.
- 22) **GAMBOA BANDRY MIREIDA. Aprovechamiento de los residuos obtenidos del proceso de despulpado del mango (*Mangifera indica* L.), de las variedades Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado como materias primas para la obtención de pectinas.** Disponible en: <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2282/1/PGIQ009G30.pdf>. Artículo web. Consultado el 28 de marzo del 2013.
- 23) **GARCÍA GUTIÉRREZ, E.M. Extracción de pectina a partir de desechos industriales del membrillo (*Cydonia oblonga*).** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1978.
- 24) **GARCÍA TORRES, MARIO ALFONSO. Guía Técnica Cultivo de Maracuyá Amarillo.** Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20Maracuya.pdf>. Artículo web. Consultado el 01 de mayo del 2012.
- 25) **GUERRA BENEDETTI, ADRIAN FERNANDO Y OTROS. Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción.** Disponible en: <http://share.pdfonline.com/745f65cec98847699ce4a188736b3e56/guia.htm>. Artículo Web. Consultado el 21 de enero del 2014.
- 26) **GRÜNAUER ESPINOZA, CECILIA CATALINA. Influencia del Secado sobre la Captación de Agua de Pectina extraída a partir del Citrus x Aurantifolia Swingle.** Disponible en: [http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D\\_Tesis\\_PDF/D-39371.pdf](http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-39371.pdf). Artículo web. Consultado el 10 de abril del 2012.

- 27) HUERTA ROSALES, L.G. **Extracción de pectina a partir de cáscara de membrillo (*Cydonia oblonga*), por el método de precipitación con sales.** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1990.
- 28) ISIQUE CALDERÓN, Julio César. **Extracción de pectina a partir de desechos industriales de maracuyá (*Passiflora edulis var. flavicarpa degener*).** Tesis para el grado Magíster. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1986.
- 29) LOPEZ ZUMAETA, Stela. **Estudio Químico Bromatológico, Fotoquímico y Extracción De Pectina Del Albedo De Citrus Medira L. (Cidrán).** Tesis profesional. Lima Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1992.
- 30) LUJÁN BURQUERO, Jesús Jorge. **Estudio de Pre-factibilidad para la instalación de una planta de extracción de pectina a partir de la cáscara de naranja.** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2008.
- 31) MALDONADO CULQUIMBOZ, YOJANI Y OTROS. **Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de maushan (*Vasconcellea weberbaueri (Harms) V.M. Badillo*) provenientes del distrito de San Miguel de Soloco, región Amazonas.** Disponible en: <http://revistas.concytec.gob.pe/pdf/as/v3n2/a05v3n2.pdf>. Artículo web. Consultado el 08 de abril del 2012.
- 32) MALLAUPOMA REYES, Hedis. **Elaboración de mermelada a partir de tumbo serrano (*Passiflora tripartita var. mollisima (Kunth) Hol - Niels & P. Jorg.*).** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2010.

- 33) MARÍN M., D'ADDOSIO R., PÁEZ G., MÁRMOL Z., FERRER J.. **Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa degener*)**. Disponible en: [http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/julio septiembre2005/r d'addosio.pdf](http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/julio%20septiembre2005/r%20d'addosio.pdf). Artículo web. Consultado el 23 de abril del 2012.
- 34) MENENDEZ AGUIRRE, ORQUIDEA Y OTROS. **Cambios en la actividad de  $\alpha$ -amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora Edulis Var. Flavicarpa Degener*)**. Disponible en: [https://www.academia.edu/2503663/cambios en la actividad de a-amilasa pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuya amarillo passiflora edulis var. flavicarpa degen er](https://www.academia.edu/2503663/cambios_en_la_actividad_de_a-amilasa_pectinmetilesterasa_y_poligalacturonasa_durante_la_maduracion_del_maracuya_amarillo_passiflora_edulis_var._flavicarpa_degener). Artículo Web. Consultado el 16 de julio del 2012.
- 35) MINISTERIOS DE LA AGRICULTURA. **Tabla de Producción, Superficie Cosechada, Rendimiento y Precio en chacra de Maracuyá, Granadilla y Tumbo**. Lima. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos. 2010.
- 36) MINISTERIO DE LA SALUD. **Tablas peruanas de composición de alimentos**. Lima. Centro nacional de alimentación y nutrición. 8va edición. 2009.
- 37) MUÑOZ ORDOÑEZ, FRANCISCO JOSÉ. **Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (*Solanum sessiliflorum*), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto**. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4006/1/822093.2011.pdf>. Artículo web. Consultado el 22 de setiembre del 2012.
- 38) NATIVIDAD MARIN, Leynard. **Rehidratación de un liofilizado de jugo de cocona (*Solanum sessiliflorum Dunal*) encapsulado con**

- carboximetilcelulosa, pectina y dextrina.** Tesis profesional. Callao. Universidad Nacional del Callao. 2011.
- 39) NAVARRO GARCÍA, Ginés y Simón. **Sustancias Pécicas: Química Y Aplicaciones.** Madrid. Universidad de Murcia. 1985.
- 40) PAGAN I GILABERT, JORDI. **Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón.** Disponible en: <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/8370/jpagan.pdf?sequence=315>. Artículo web. Consultado el 20 de abril del 2012.
- 41) PUERTA GÓMEZ, A.F. **Extracción de pectina LM de la cáscara de limón por el método electrolítico.** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1996.
- 42) QUEVEDO LEÓN, R.A. **Extracción de pectina a partir de desecho industrial de limón (*Citrus aurantifolia*) por electrodecantación.** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1993.
- 43) QUITO-VIDAL, MOISÉS; ZÁRATE-TACURI, LUIS. **Extracción y caracterización de pectina de alto metóxilo a partir de cascara de limón sutil (*Citrus aurantifolia Swingle*).** Disponible en: <http://papiros.upeu.edu.pe/bitstream/handle/123456789/228/CIn76Articulo.pdf?sequence=1>. Artículo web. Consultado el 15 de abril del 2012.
- 44) RIVADENEIRA ÁVILA, MARIELLA ALEXANDRA. **Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de Maracuyá (*Passiflora edulis*) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia.** Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10047/1/Extracci%C3%B3n%20de%20pectina%20l%C3%ADquida%20a%20partir%20>

- [de%20c%C3%A1scaras%20de%20Maracuya.pdf](#). Artículo web.  
Consultado el 15 de abril del 2012.
- 45) ROSSEL CABRERA, P. **Extracción de la pectina a partir de desechos industriales de limón (*Citrus aurantifolia*)**. Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1978.
- 46) SÁNCHEZ ALDANA-VILLARRUEL, DANIELA. **Moléculas pécticas: extracción y su potencial aplicación como empaque**. Disponible en:  
[http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Moleculas\\_pecticas\\_extraccion\\_y\\_su\\_potencial\\_aplicacion\\_como\\_empaque.pdf](http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Moleculas_pecticas_extraccion_y_su_potencial_aplicacion_como_empaque.pdf). Artículo Web. Consultado el 22 de agosto del 2012.
- 47) SIMÓN NAVARRO y Otros. **Sustancias Pécticas: Química Y Aplicaciones**. España. Universidad de Murcia. 1985.
- 48) TAÍPE-MANRIQUE, FRANK CRONWELL; MATOS-CHAMORRO, ALFREDO. **Importancia de la Pectina como Aditivo Alimentario en la Industria de Alimentos**. Disponible en:  
<http://papiros.upeu.edu.pe/bitstream/handle/123456789/191/CIn44Articulo.pdf?sequence=1>. Artículo web. Consultado el 12 de abril del 2012.
- 49) TENE CULQUICONDOR, Isauro. **Estudio de Factibilidad Técnica sobre la Extracción de la Pectina de Guayaba (*Psidium Guajaba*)**. Tesis profesional. Lima Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1978.
- 50) **Extracción de pectina a partir de la cascara de plátano (*Musa AAB*, subgrupo plátano) clon Hartón**. Disponible en:  
[www.scielo.org.ve/pdf/rfaz/v25n2/art08.pdf](http://www.scielo.org.ve/pdf/rfaz/v25n2/art08.pdf). Artículo web. Consultado el 08 de abril del 2012.

- 51) UQUICHE CARRASCO, Edgard Luciano. **Obtención ácida-alcalina de pectina a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis var. Flavicarpa degener*) utilizando sales de aluminio para su precipitación.** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1991.
- 52) VARGAS MÁS, Rosa Ana y BENITES ALFARO, Elmer Gonzales. **Extracción de la pectina a partir de la cáscara de camu-camu (*Myrciaria Dubia H.B.K. Mc. Vaugh*).** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2002.
- 53) VÁSQUEZ CLAVO, Guillermo N. **Extracción y caracterización de la pectina del bagazo de manzana Delicia y San Antonio (*Pyrus malus*).** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1993.
- 54) VÉLIZ SEDANO, Norma M. **Extracción de pectina del níspero y su caracterización (*Eriobotrya japonica*).** Tesis profesional. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1984.

# **ANEXOS**

## I. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿En qué medida las cáscaras del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano pueden constituirse en la materia prima básica para obtener pectina por hidrólisis ácida que debido a sus características químicas puedan ser utilizadas en sustitución de la pectina existente en el mercado?	Obtener pectina de la cáscara del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano por hidrólisis ácida con características en su contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación que permita su utilización en la industria en sustitución de la pectina existente en el mercado.	Las pectinas de la cáscara del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano obtenida por hidrólisis ácida presentan características en su contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación que permita su utilización en la industria en sustitución de la pectina existente en el mercado.	X = Obtención de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo, granadilla y tumbo serrano que presentan características en su contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Comparando Y <sub>1</sub> , Y <sub>2</sub> y Y <sub>3</sub> con X.
SUB - PROBLEMA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a. ¿Cuáles son los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo extraída por hidrólisis ácida?	a. Determinar los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo extraída por hidrólisis ácida.	Los contenidos de las características químicas: de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo extraída por hidrólisis ácida es similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.	Y <sub>1</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens
b. ¿Cuáles son los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara de la granadilla extraída por hidrólisis ácida?	b. Determinar los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara de la granadilla extraída por hidrólisis ácida.	Los contenidos de las características químicas: de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara de la granadilla extraída por hidrólisis ácida es similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.	Y <sub>2</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara de la granadilla.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens
c. ¿Cuáles son los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara del tumbo serrano extraída por hidrólisis ácida?	c. Determinar los contenidos de las características químicas de la pectina de la cáscara del tumbo serrano extraída por hidrólisis ácida.	Los contenidos de las características químicas: de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del tumbo serrano extraída por hidrólisis ácida es similar o mayor al de la pectina existente en el mercado.	Y <sub>3</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del tumbo serrano.	Contenido de Metóxilo Ácido Galacturónico Grado de Esterificación	Porcentaje Porcentaje Porcentaje	Owens

RELACION DE VARIABLES:  $X = f(Y_1, Y_2, Y_3)$

Y<sub>1</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del maracuyá amarillo.

Y<sub>2</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara de la granadilla.

Y<sub>3</sub> = Contenido de metóxilo, ácido galacturónico y grado de esterificación de la pectina de la cáscara del tumbo serrano.

## II. HUMEDAD (OWENS, 1952)

Pesar 1 g de la muestra, pasarlo a una malla 80, en un plato de metal (5 cm de diámetro, con tapa).

Secar al vacío (5 a 20 mmHg) por 4 horas a 100°C.

Enfriar en un desecador sobre pentóxido de fósforo. No utilice esta muestra como pectina para la medición subsiguiente ya que se habrá degradado.

$$\%Humedad = \frac{W_{húmeda} - W_{seca}}{W_{húmeda}} \times 100\%$$

Si la muestra ha de ser utilizado para otras mediciones, el secado debe ser hecho a 70°C por 16 horas. Añadir 1% al porcentaje de humedad observada para estar acorde con el método de Fisher.

## III. CENIZAS (OWENS, 1952)

Pesar 1 a 2 g de sustancia péctica en un crisol tarado.

Encender lentamente la estufa, luego calentar por 3 a 4 horas a 600°C.

Enfriar a temperatura ambiente en un desecador y pesarlo.

$$\%Cenizas = \frac{W_{cenizas}}{W_{pectina}} \times 100\%$$

## IV. ALCALINIDAD DE CENIZAS (OWENS, 1952)

Para determinar la alcalinidad de la cenizas, disolver las cenizas en 25 mL de HCl 0.1 N.

Calentar suavemente hasta ebullición y enfriar.

Valorar con NaOH 0.1N usando fenolftaleína como indicador (la normalidad de HCl y NaOH empleada debe ser la misma o bien llevar a cabo una valoración en blanco utilizando 25 ml de HCl utilizado).

$$\%Alcalinidad\ como\ carbonato = \frac{titulo \times normalidad\ NaOH \times 60}{w_{cenizas} \times 1000} \times 100$$

$$\%Cenizas\ libre\ de\ carbonato = \% cenizas - \% carbonato$$

## V. PESO EQUIVALENTE (OWENS, 1952)

El peso equivalente es usado para calcular el contenido de ácido galacturónico y el grado de esterificación. Este es determinado por titulación con hidróxido de sodio a 7,5 de pH usando rojo de fenol o indicador de Hinton.

### Reactivos

1. Etanol (alcohol 96°).
2. Hidróxido de sodio 0.1 N estandarizado.
3. Indicador rojo de fenol: Moler 0.1g del polvo seco en un mortero con 28.2 mL de NaOH 0.01 M. Diluir a 250 mL con agua destilada;  
o
4. Indicador de Hinton: Mezclar 20 mL de 0.4% de azul de bromotimol, 60 mL de 0.4% de rojo de fenol, 20 mL de 0.4 % de rojo de cresol y 20 mL de agua destilada. utilizar sales de sodio de los indicadores para la elaboración de las soluciones.
5. Agua destilada libre de dióxido de carbono: Ebulir agua destilada por 15 minutos. Enfriar a temperatura ambiente. Proteger de dióxido de carbono atmosférico.

### Procedimiento

Pesar 0,5 g de la sustancia péctica (libre de amonio y cenizas) en un matraz erlenmeyer con tapa de 250 mL. Humedezca con 5 mL de etanol.

Agregue 1g de NaCl para hacer más notorio el punto final (agitar)

Agregue 100 mL de agua destilada libre de carbonatos, y 6 gotas del indicador de Hinton o Rojo de Fenol. Asegurarse que toda la sustancia péctica esté disuelta y que no haya grumos que se retengan en las paredes del matraz.

Titular lentamente (para evitar una posible desesterificación) con NaOH 0,1 N, hasta el cambio de color del indicador (pH 7,5) este cambio debe persistir por lo menos 30 segundos.

El indicador de Hinton da un púrpura rojizo (magenta) en el punto final.

$$\text{Peso Equivalente} = \frac{\text{peso de la muestra} \times 1000}{\text{mL de álcali} \times \text{Normalidad}}$$

Esta solución neutralizada puede usarse para la determinación del contenido de metóxilo.

## VI. CONTENIDO DE METOXILO (OWENS, 1952)

El contenido de metóxilo es un factor importante en el control del tiempo de fraguado de pectinas, la sensibilidad de los cationes polivalentes y su utilidad en la preparación de geles sólidos bajos, películas y fibras. Se determina mediante la saponificación de la pectina y la titulación del grupo carboxilo liberado.

### Reactivos

- Hidróxido de sodio estandarizado 0.25 N y 0.1 N
- Ácido clorhídrico estandarizado 0.25 N

### Procedimiento

Agregue 25 mL de NaOH 0,25 N a la solución neutra procedente del peso equivalente.

Agítela vigorosamente y déjela en reposo a temperatura ambiente con tapa, por 30 minutos en un matraz tapado.

Agregue 25 mL de HCl 0.25N (o una cantidad equivalente a la base agregada) y titule con NaOH 0.1N hasta el mismo punto final como anteriormente.

$$\% \text{ Contenido de Metóxilo} = \frac{\text{ml de álcali} \times \text{normalidad del álcali} \times 3.1}{W_{\text{muestra}}}$$

### VII. ACIDO GALACTURÓNICO (OWENS, 1952)

La pectina, que es un poligalacturónido parcialmente esterificado contiene 10% o más de material orgánico compuesto de arabinosa, galactosa y azúcares. La estimación del contenido de ácido galacturónico es esencial para determinar la pureza y el grado de esterificación además de evaluar las propiedades físicas.

#### Procedimiento

Haciendo uso del peso equivalente, contenido en metóxilo y los datos de la alcalinidad de las cenizas, calcular el ácido galacturónico de la expresión dada a continuación.

$$\%AG = 176x \left[ \frac{\text{me. álcali peso eq.} + \text{me. alcali saponificación} + \text{me. cenizas titulables}}{\text{peso muestra}(mg)} \right] x 100$$

me. = mili equivalentes

### VIII. GRADO DE ESTERIFICACION (DOESBURG, 1965)

Depende del ácido galacturónico (AUA) y metóxilo.

$$GE = \frac{(\% \text{metóxilo}) \times 176 \times 100}{(\%AG) \times 31}$$

## IX. FICHA TÉCNICA DE LA PECTINA COMERCIAL

### PRODUCT DATA SHEET

#### GENU® pectin type 105 rapid set



File no.: 0001060-03

Revision date: August 11, 2005

**Description** GENU® pectin type 105 rapid set is a high ester pectin extracted from citrus peel and standardized by addition of sucrose

- Features**
- Rapid set gelling rate
  - High gelling temperature

**Typical Applications** High sugar jams with soluble solids of 60-65%  
High sugar jellies with soluble solids of 60-65%

**Typical Use Level** 0.3 – 1.0%

**Standard packaging** Packed in 25 kg paper bags. All packaging material complies with FDA and EU food contact legislation.

**Regulatory Compliance** The hydrocolloid(s) in question complies with current purity criteria according to

- Food Chemicals Codex
- FAO/JECFA specifications
- EU directive

Further details appear from:

<u>GENU publication</u>	<u>Title</u>
Product Specification 0000001	Purity specifications for pectins

**Labeling information** GENU® pectin type 105 rapid set

E440 Pectin standardized with sucrose, CAS: 9000-69-5, 57-50-1  
For manufacture of foodstuffs and not for retail sale.



**MONTANA S.A.**  
*Ingredientes para el éxito*

REPRESENTANTE EXCLUSIVO EN EL PERU.  
Av. Los Rosales 280 - Lima 43 - Perú  
Servicio al Cliente: 362 3030 - Fax: 362 0638  
E-mail: [info@montana.com.pe](mailto:info@montana.com.pe)  
[www.montana.com.pe](http://www.montana.com.pe)

[www.cpkelco.com](http://www.cpkelco.com)

Page 1 of 2

# GENU® pectin type 105 rapid set

File no.: 0001080-03

Revision date: August 11, 2005

Specifications	Property	Specification	Method
	Degree of Esterification	67.0 - 73.0	0006010
	pH of 1% solution	2.9 - 3.6	0006041
	Loss on drying	<= 12.0	0006042
	HM-SAG	145 - 155	0101001

- Other characteristics**
- Texture free-flowing powder
  - Particle size less than 1% gum on a 0.250 mm test sieve
  - Colour cream to light tan
  - Essentially flavourless, free from off-flavours and odours

**Best before** When stored in a roofed and well ventilated area in the unopened original package, the product may be stored for up to 12 months from the date of production without showing significant difference in functional properties.

**Documentation** Test methods and Nutritional Data Profiles are available upon request. CP Kelco reserves the right to use company test methodology.

**Production facilities** Possible production facilities of CP Kelco:  
CP Kelco, Grossenbrode, Germany  
CP Kelco, Limeira, Brazil  
CP Kelco, Lille Skensved, Denmark

The information contained herein is, to our best knowledge, true and accurate, but all recommendations or suggestions are made without guarantee, since we can neither anticipate nor control the different conditions under which this information and our products are used. Each manufacturer should evaluate their final products to determine compliance with all relevant federal, state and local regulations. Further we can disclaim all liability with regard to its customers' infringement of third party intellectual property including, but not limited to, patents. We recommend that our customers apply for licenses under any relevant patents. No statement herein or by our employees shall be construed to imply the non-existence of relevant patents nor as a recommendation or inducement to infringe said patents. It is our policy, however, to assist our customers and to help in the solution of particular problems which may arise in connection with applications of our products.

GENU® is a registered trademark of CP Kelco ApS and/or CP Kelco U.S., Inc. and may be registered or applied for in other countries.  
© CP Kelco ApS 2001

e-mail [solutions@cpkelco.com](mailto:solutions@cpkelco.com)  
[www.cpkelco.com](http://www.cpkelco.com)

Page 2 of 2

## The Americas

CP Kelco  
311 S. Wacker Dr. Suite 3700  
Chicago, IL 60606  
312-554-7800 phone  
312-554-7804 fax

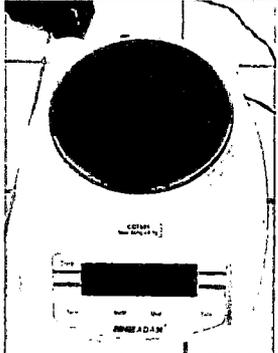
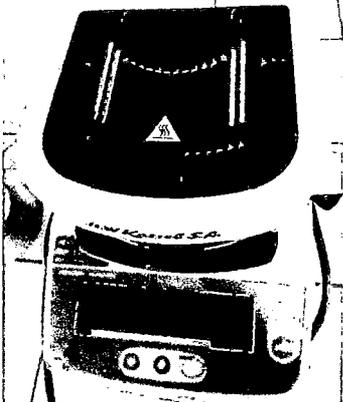
## Europe/Middle East/Africa

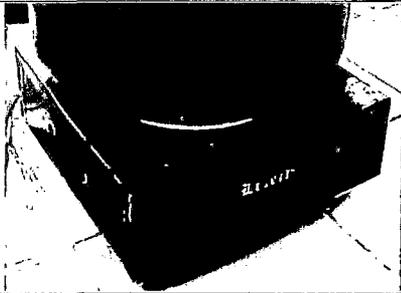
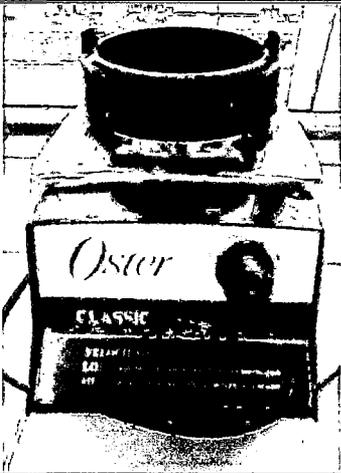
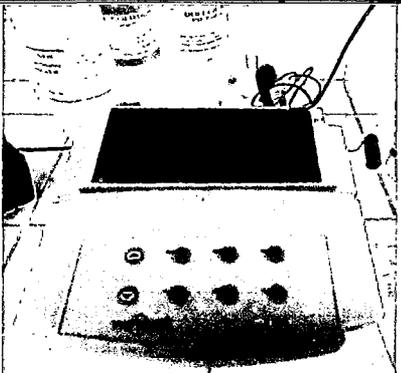
CP Kelco France SARL  
Tour Neptune  
20 place de Seine  
92086 Paris La Défense Cedex  
France  
+33 (0) 1 49 03 78 00 phone  
+33 (0) 1 49 03 78 29 fax

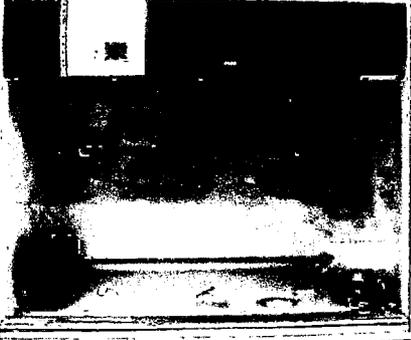
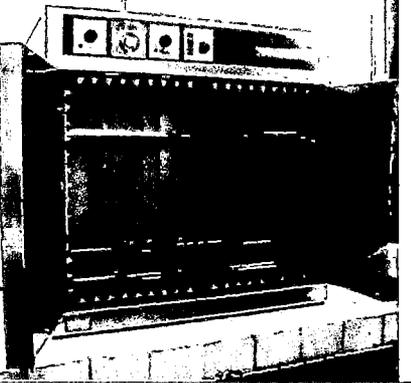
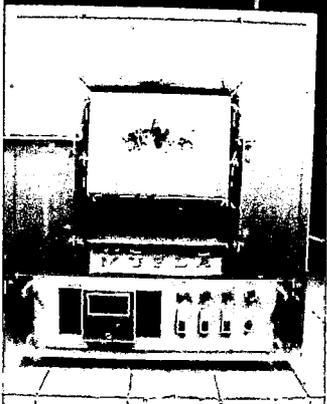
## Asia Pacific

CP Kelco Singapore Pte. Ltd.  
151 Lorong Chuan  
#06-07 New Tech Park  
Singapore 556741  
+65 383 4440 phone  
+65 383 4441 fax

## X. EQUIPOS UTILIZADOS

EQUIPO	ESPECIFICACIONES	IMAGEN
Balanza Digital	<p>Marca: AE ADAM            Modelo: CQT 601            Mínimo: 0,1 g            Máximo: 600g</p>	
Balanza Analítica	<p>Marca: H.W. KESSEL S.A.            Modelo: AND GR – 200            Mínimo: 10 mg            Máximo: 210g</p>	
Balanza de Humedad	<p>Marca: H.W. KESSEL S.A.            Modelo: AND MX-50            Mínimo: 0,001 g            Máximo: 51 g</p>	
Refractómetro Digital	<p>Marca: MRC            Modelo: Ref – 85            Mínimo: 0 °Brix            Máximo: 85% °Brix</p>	

<p>Cocinilla Eléctrica</p>	<p>Marca: LIZETH</p>	
<p>Licuada Casera</p>	<p>Marca: OSTER Modelo: Classic</p>	
<p>Molino de Martillos</p>	<p>Marca: Culatti Modelo: CZI3</p>	
<p>Potenciómetro</p>	<p>Marca: VWR Modelo: 8025</p>	

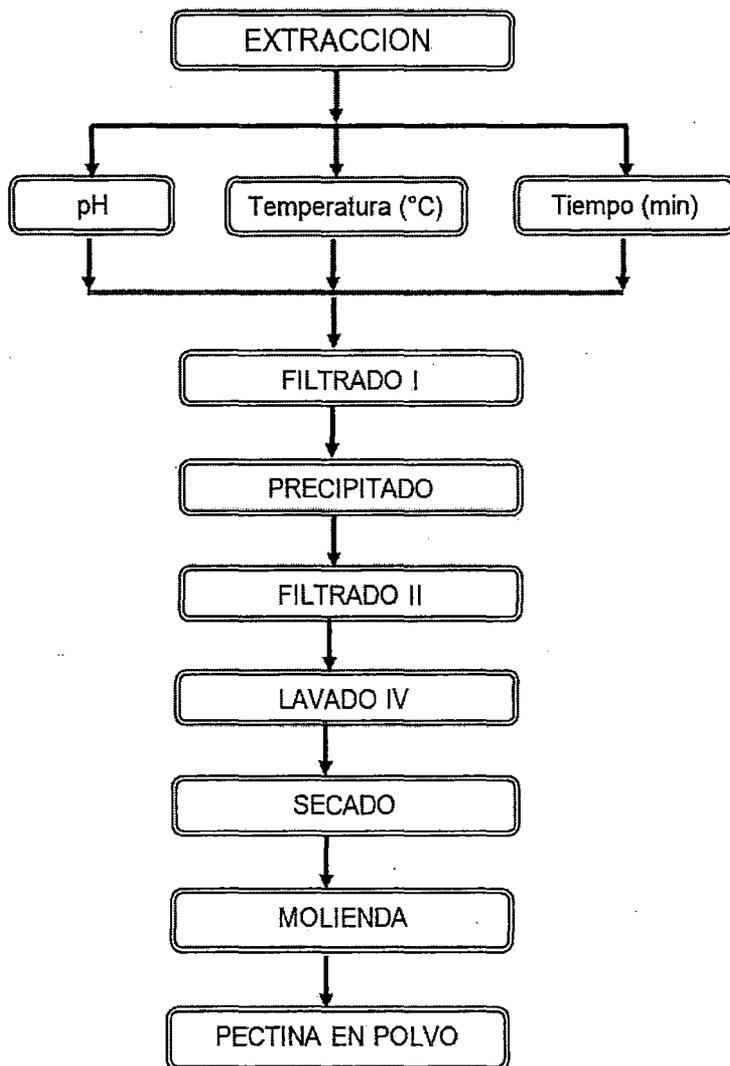
<p>Campana Extractora</p>	<p>Marca: ESCO Modelo: EFH – 4B3</p>	
<p>Estufa Eléctrica</p>	<p>Marca: Stronger Modelo: CX-96VD Mínimo: 30 °C Máximo: 220 °C</p>	
<p>Mufla Eléctrica</p>	<p>Marca: OMSZOV Modelo: OH63 Mínimo: 0 °C Máximo: 600 °C</p>	

## XI. FLUJOGRAMA DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA



Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

## XII. FLUJOGRAMA DE LA EXTRACCIÓN DE LA PECTINA



Con HCl concentrado, en una relación de cáscara - agua acidulada de 1/12.

pH: 2 - 3  
Temp: 80 - 95 °C  
tiempo: 60 - 90 min.

Diseño factorial de 2<sup>3</sup>.

Con tela focuyo y nos quedamos con el extracto.

Con alcohol etílico de 96 ° al 80% volumen del extracto.

Con tela fina o papel filtro poroso y nos quedamos con el gel.

Para purificar la pectina con 2 lavados sucesivos de alcohol de 70°.

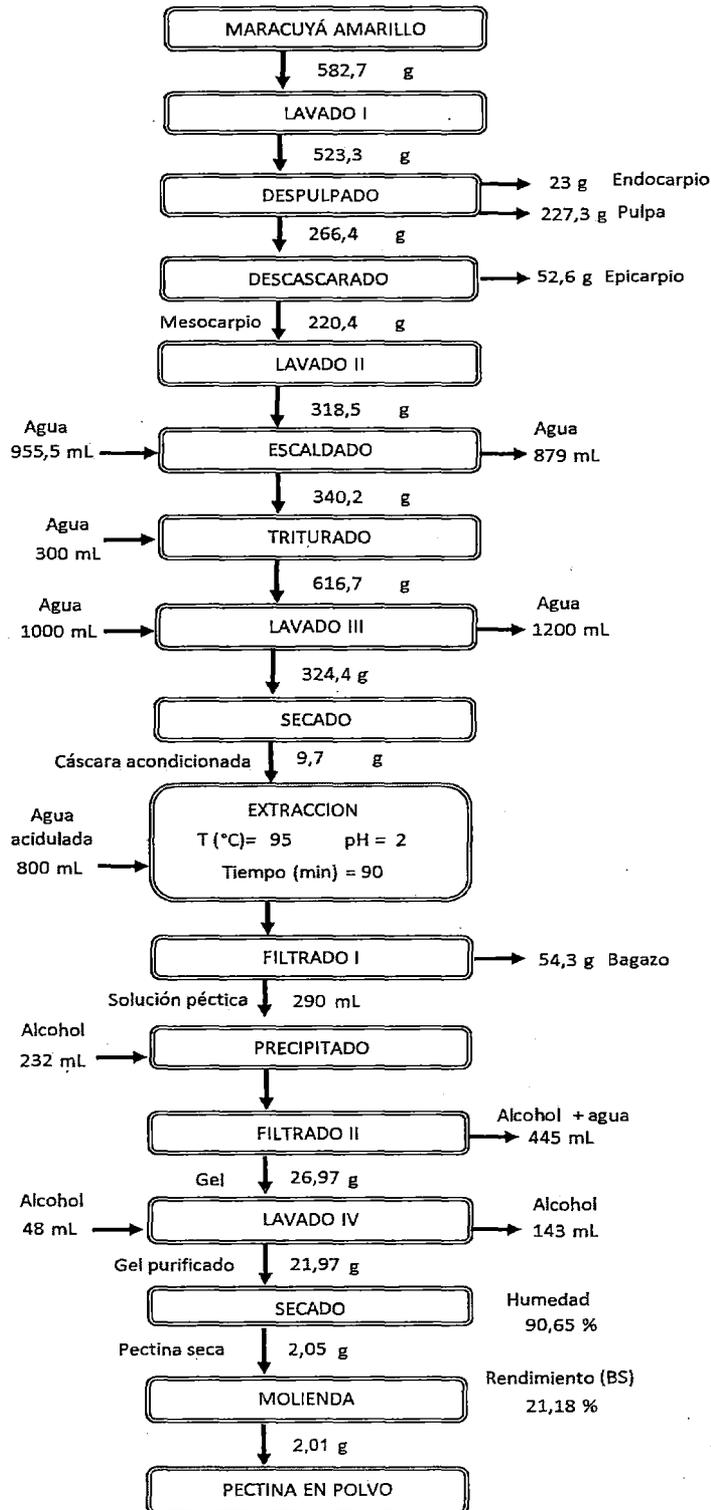
En estufa eléctrica a 50 °C por 12 horas.

En molino de martillos.

Almacenado en bolsas de polietileno y en desecador.

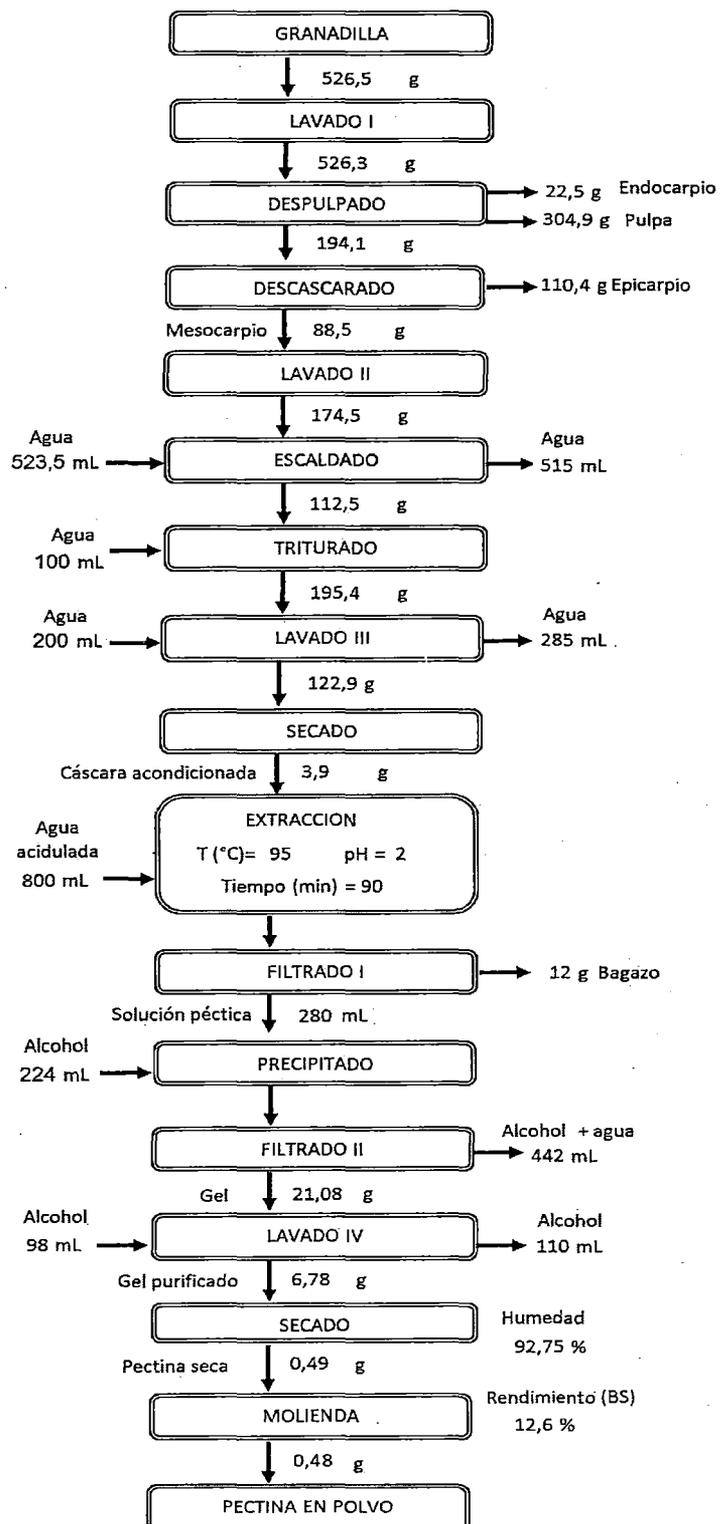
Fuente: Elaborado por los autores de la tesis.

### XIII. DIAGRAMA DE BLOQUE DEL PROCESO ÓPTIMO DEL MARACUYÁ AMARILLO.



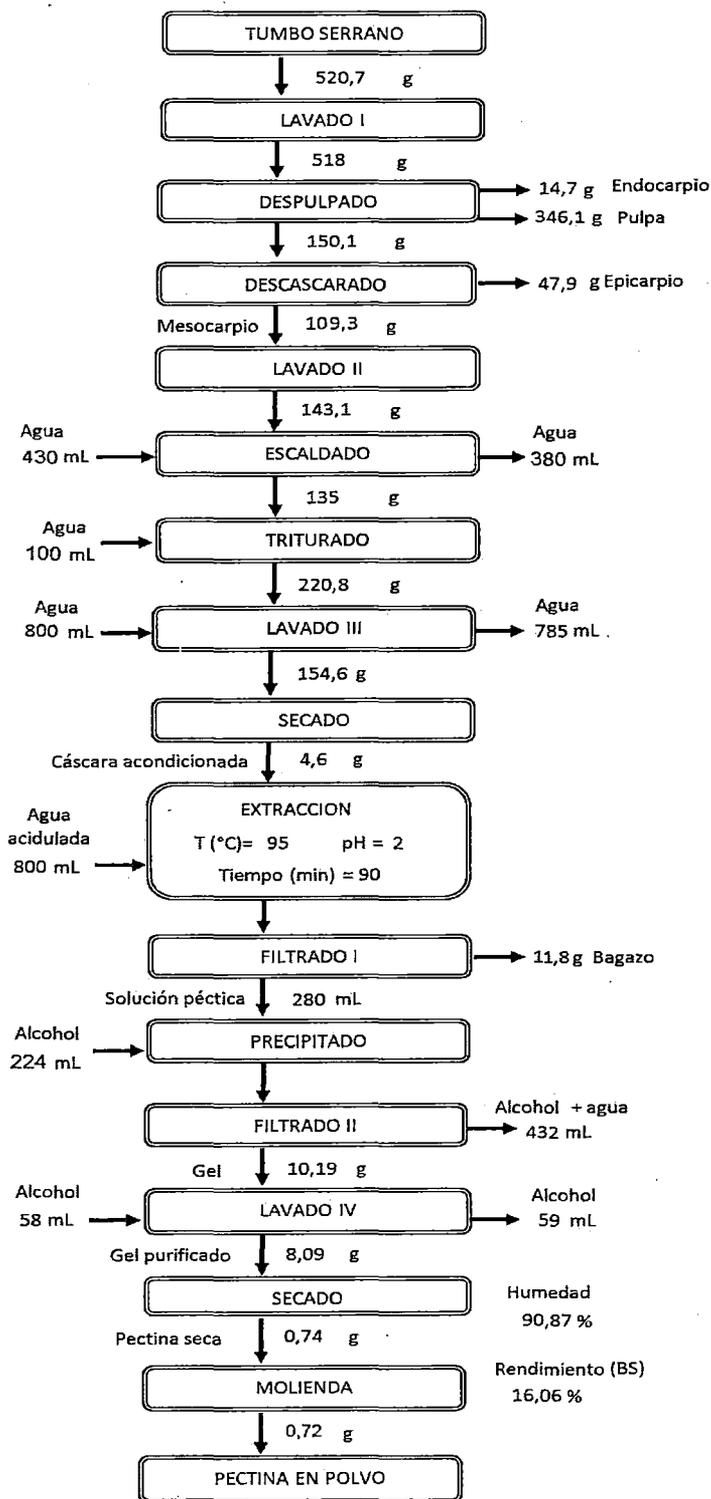
Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

#### XIV. DIAGRAMA DE BLOQUE DEL PROCESO ÓPTIMO DE LA GRANADILLA.



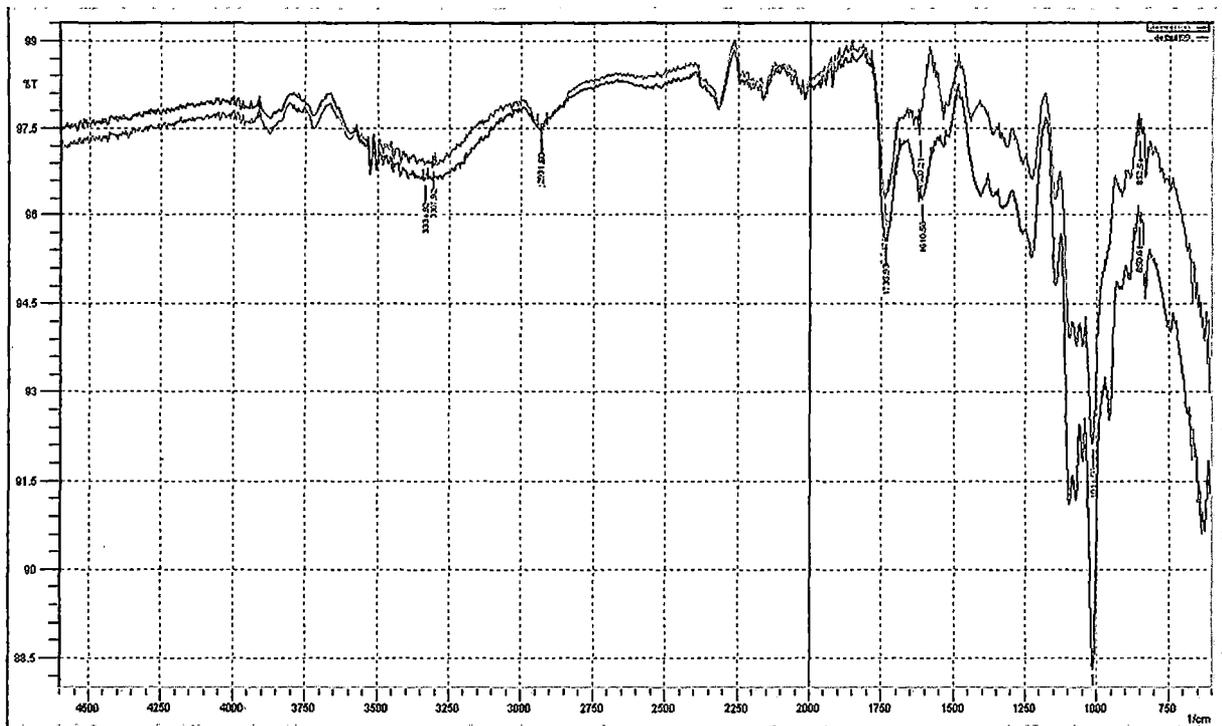
Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

## XV. DIAGRAMA DE BLOQUE DEL PROCESO ÓPTIMO DEL TUMBO SERRANO.



Fuente: Elaborado por los autores de la tesis

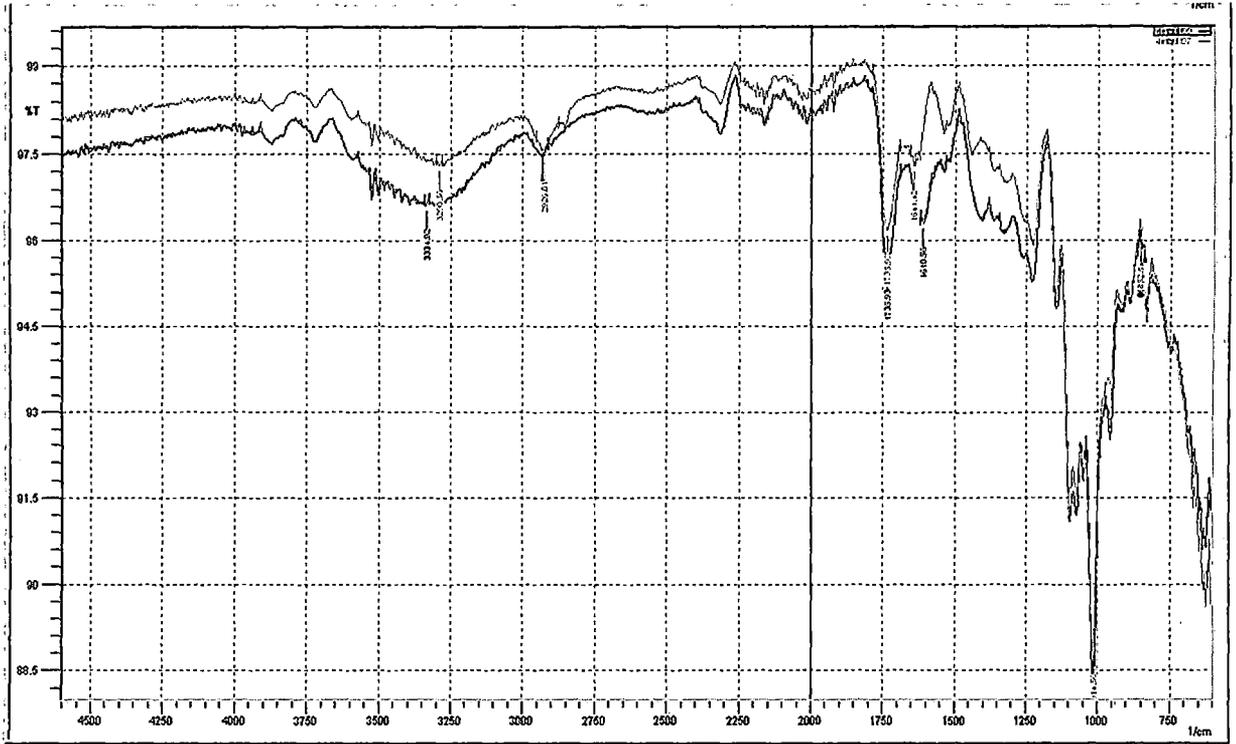
**XVI. ESPECTROS INFRAROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER PARA RECONOCIMIENTO DE LA PECTINA COMERCIAL Y LAS PECTINAS EXTRAIDAS.**



**LEYENDA:**

**GRIS: PECTINA COMERCIAL**

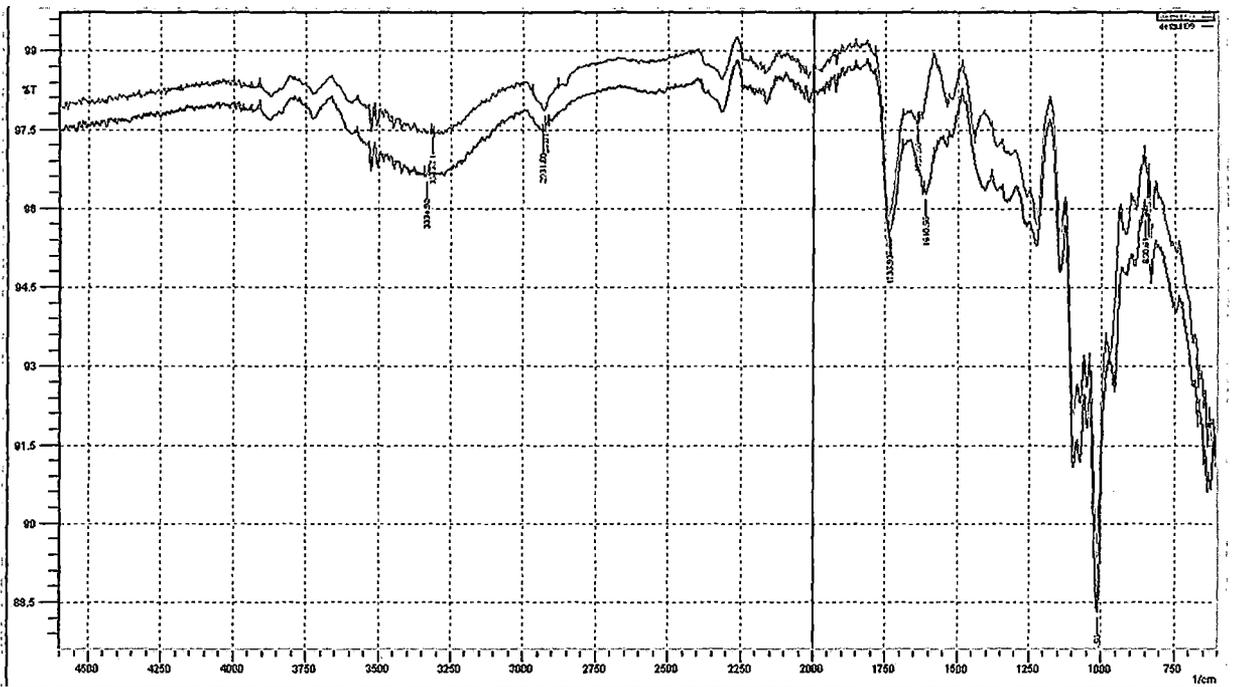
**ROJO: MARACUYA 1**



**LEYENDA:**

**NEGRO: PECTINA COMERCIAL**

**GRIS: GRANADILLA 4**

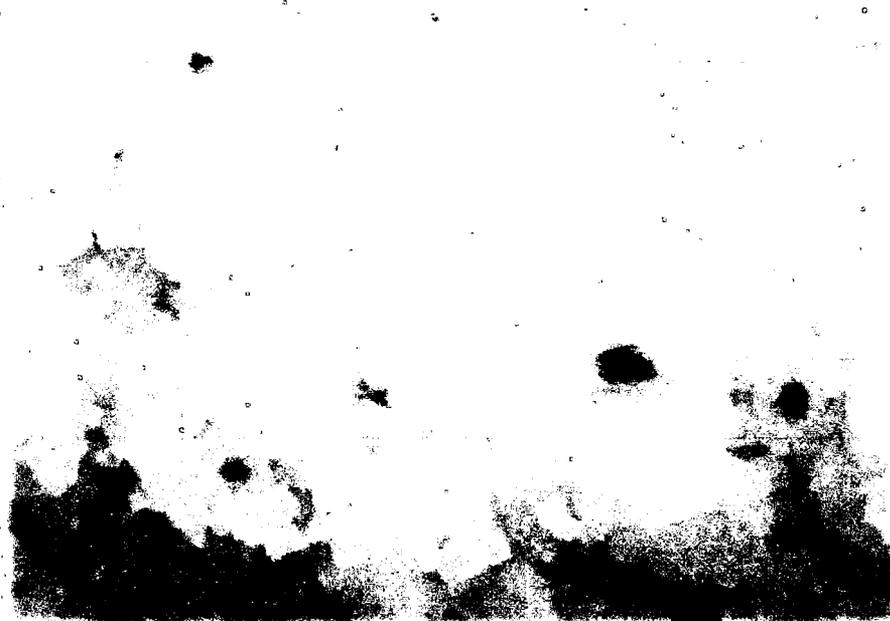


**LEYENDA:**

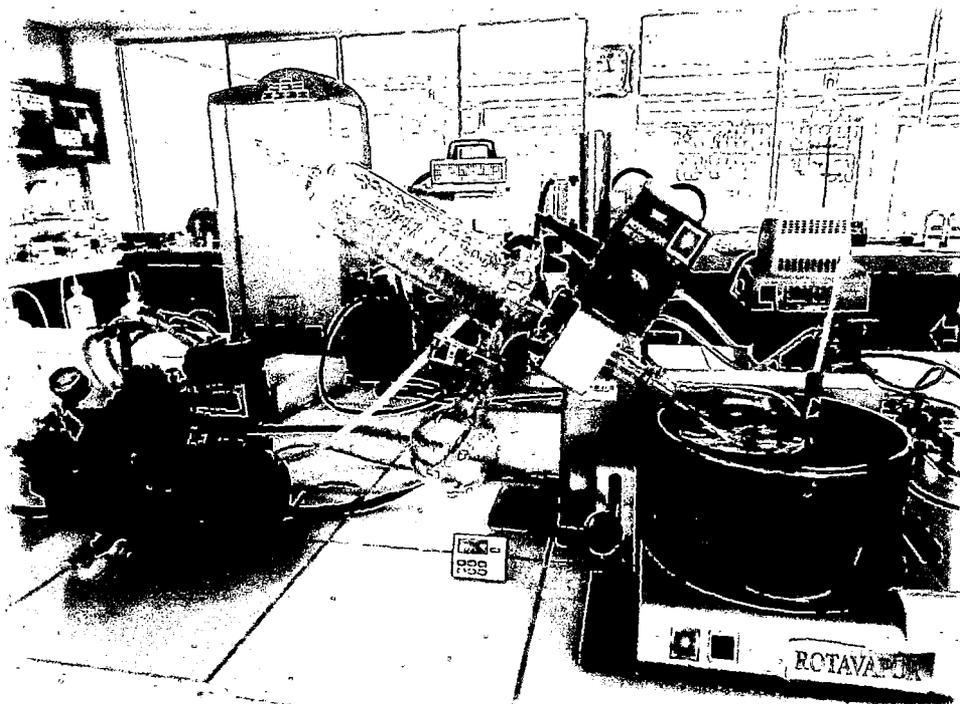
**NEGRO: PECTINA COMERCIAL**

**VIOLETA: TUMBO 1**

## XVII. MUESTRA ACONDICIONADA DE MARACUYÁ CON HONGOS



## XVIII. CONCENTRACION DE LA SOLUCIÓN PÉCTICA EN ROTAVAPOR



## XIX. DESTILACIÓN PARA RECUPERACIÓN DEL ALCOHOL

